Aus der Orthopädischen Klinik, König-Ludwig-Haus, Würzburg
Lehrstuhl für Orthopädie
Direktor: Professor Dr. med. A. R ü t t

---

# DER EINFLUSS DES PULSIERENDEN MAGNETFELDES AUF DAS KNOCHENWACHSTUM VON HUNDEN

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Leonie Söhner
aus Roigheim

Würzburg, den 30. Oktober 1981

1982

Aus der Orthopädischen Klinik, König-Ludwig-Haus, Würzburg
Lehrstuhl für Orthopädie
Direktor: Professor Dr. med. A. R ü t t

---

# DER EINFLUSS DES PULSIERENDEN MAGNETFELDES AUF DAS KNOCHENWACHSTUM VON HUNDEN

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Leonie Söhner
aus Roigheim

Würzburg, den 30. Oktober 1981

| | |
|---|---|
| Referent: | Professor Dr. med. A. Rütt |
| Korreferent: | Professor Dr. med. W. Küsswetter |
| Dekan: | Professor Dr. med. K.-A. Bushe |

Tag der mündlichen Prüfung: 24.2.1982

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

# I N H A L T S V E R Z E I C H N I S


| | | Seite |
|---|---|---|
| I. | EINLEITUNG | 1 |
| II. | BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN UND THEORIEN | 2 |
| | 1.) Frühe Arbeiten | 2 |
| | 2.) Piezoelektrizität des Knochens | 3 |
| | 3.) Anregung des Knochenwachstums durch elektrische Felder | 7 |
| | 4.) Pulsierende Magnetfelder | 11 |
| III. | TIERE - MATERIAL - GERÄTE | 17 |
| | 1.) Tiere | 17 |
| | 2.) Geräte und Materialien | 18 |
| IV. | ERLÄUTERUNGEN ZUM VERSUCH | 19 |
| | 1.) Methodik | 19 |
| | 2.) Theoretische Erläuterungen | 22 |
| V. | VERSUCHSABLAUF | 23 |
| | 1.) Operationen | 23 |
| | 2.) Fluoreszenzmarkierungen | 24 |
| | 3.) Magnetfeldbehandlung | 24 |
| | 4.) Präparation | 25 |
| | 5.) Fluoreszenzmikroskopie | 28 |
| | 6.) Projektion | 28 |
| | 7.) Ringflächenbestimmung | 31 |
| | 8.) Berechnungen | 31 |
| | a) Prozentualer Zuwachs | 32 |
| | b) Wachstumsfaktor | 33 |
| | c) Wachstumsfaktorendifferenz | 33 |
| | 9.) Tabellen und graphische Darstellung der Mittelwerte | 34 |
| VI. | DISKUSSION DER ERGEBNISSE | 52 |
| | 1.) Ergebnisse | 52 |
| | 2.) Diskussion | 52 |
| VII. | ZUSAMMENFASSUNG | 55 |
| A) | Anhang: Tabellen zur Berechnung der Mittelwerte | 56 |
| VIII. | LITERATURVERZEICHNIS | 67 |

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543522_0063

# I. EINLEITUNG

Die Magnetfeldbehandlung hat schon seit einiger Zeit in manchen Kliniken Eingang in die Therapie gefunden; hierbei vor allem zur Beschleunigung der verzögerten Knochenbruchheilung und zur Pseudarthrosenbehandlung.
Die dabei erzielten Heilungserfolge konnten bislang noch nicht befriedigend wissenschaftlich belegt werden.
Insbesondere fällt es schwer, die positiven Effekte als allein von den applizierten Magnetfeldern bedingt anzusehen.
Der frakturierte und osteotomierte Knochen bietet gestörte Strukturverhältnisse und eine veränderte Stoffwechsellage, die eine objektive vergleichende Betrachtung kaum zulassen.

Um nun die speziell vom Magnetfeld ausgeübte Beeinflussung des Knochenwachstums zu untersuchen, steht in der vorliegenden Arbeit das Osteon, als kleinste organisierte Knocheneinheit, im Mittelpunkt des Interesses.
Es soll gezeigt werden, wie die Osteone eines unversehrten Knochens, hier des Radius von Beagle-Hunden, ihr Wachstum unter der Therapie mit pulsierenden Magnetfeldern verändern.

## II. BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN UND THEORIEN

### 1.) Frühe Arbeiten:

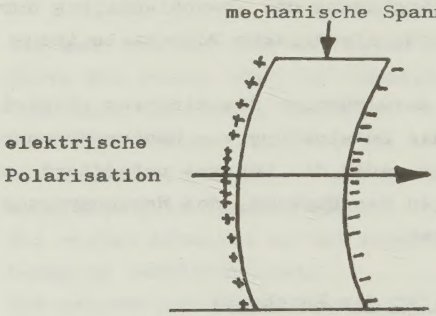
Wie kann man das Gewebewachstum anregen?
Unter den vielen hier zur Beantwortung in Betracht kommenden Möglichkeiten stehen in der folgenden Übersicht einige Arbeiten, die sich mit elektrischen und magnetischen Feldern als Wachstumsstimulans beschäftigen, im Vordergrund.
Die ersten Arbeiten wurden schon Anfang dieses Jahrhunderts veröffentlicht.
Sie beschäftigten sich vor allem mit den Auswirkungen dieser Felder auf Gewebekulturen verschiedenster Organe und von verschiedenen Tieren in vitro.
Erwähnenswert ist hierzu die Untersuchung von INGVAR, der die Zell- und Faserbildung mit Gleichstrom anregte. Außerdem wurde ein geordnetes Wachstum zwischen der Anode und der Kathode deutlich, wogegen die Kontrollkulturen ein ungeordnetes Wachstum zeigten.
1933 veröffentlichte J. LENGYEL ihre Ergebnisse über das Verhalten von Herzgewebekulturen von Küken in den Kraftfeldern von Dauermagneten. Sie konnte eine verstärkte Proliferation und eine auffallend gesteigerte Wachstumsintensität nachweisen, wobei die Faserstrukturen völlig ungeordnet erschienen.
Ähnliche Effekte konnte LENZI 1940 durch Versuche mit Bakterien, Mäusen und Geweben im Einflußbereich von Elektromagnetfeldern erzielen.
Alle diese Arbeiten zeigten Auswirkungen von Magnetfeldern und elektrischem Strom auf das Gewebewachs-

tum in vitro, wie zum Teil auch auf lebende Organismen, konnten aber noch keine begründeten Erklärungen für diese aufgezeigten Effekte angeben.
Ende der vierziger Jahre beschrieb LUND das Vorhandensein und die Einflüsse des endogenen elektrischen Feldes auf das Wachstum. Er konnte an Pflanzenzellen eine Wachstumsverlangsamung und -beschleunigung durch von außen einwirkende elektrische Potentiale induzieren.
Auch SEDAR konnte Auswirkungen des direkten elektrischen Feldes auf die Entwicklung von Hühnerembryonen aufzeigen; und zwar waren die Embryos retardiert und zeigten Mißbildungen des Herzens, des Nervensystems und der Extremitäten.

2.) Piezoelektrizität des Knochens:

Mitte der fünfziger Jahre wurde das wissenschaftliche Interesse zunehmend auf die Untersuchung elektrischer und magnetischer Felder und deren Effekte auf den lebenden Knochen gelenkt.
Ausschlaggebend dafür war die Entdeckung piezoelektrischer Potentiale am Knochen durch YASUDA.
Diese piezoelektrische Eigenschaft war bis dahin nur von Quarzkristallen bekannt und wurde bereits 1880 von P. CURIE beschrieben.
Die Piezoelektrizität beruht auf Ladungen, die bei Deformierung durch Druck oder Zug durch die Verschiebung der Ionen entstehen, das heißt zwischen den entgegengesetzten Oberflächen eines Kristalls entsteht eine elektrische Spannung.
Das gleiche Phänomen wurde am Knochen deutlich.

Die komprimierten Bereiche des Knochens wiesen ein Überwiegen der Elektronen auf, das heißt sie wurden elektro-negativ; die unter Spannung stehenden Bezirke waren elektronenarm, das heißt sie wurden elektro-positiv.



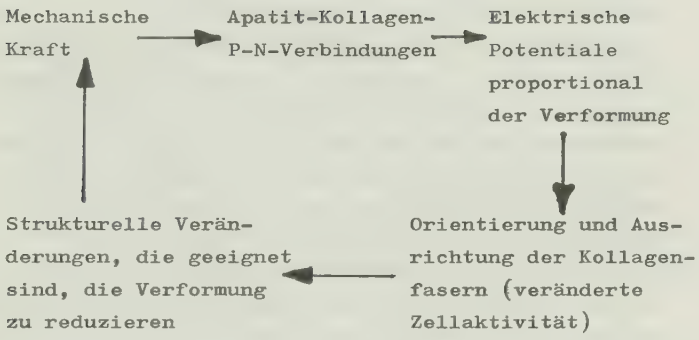

Piezoelektrisches Potential am biegebelasteten Knochen; Skizze nach KRAUS und LECHNER (26)

Diese Potentiale erreichen ihr Maximum, wenn die deformierende Kraft in einem Winkel von 45° zur Knochenlängsachse wirksam wird und verschwinden bei einem Einfallswinkel von 10°.
Durch zahlreiche Versuche konnten YASUDA und FUKADA 1957 für den Knochen eine piezoelektrische Konstante (d) postulieren.
Sie wiesen nach, daß nicht nur durch mechanische Verformung piezoelektrische Potentiale entstehen, sondern daß auch durch von außen einwirkenden elektrischen Gleichstrom eine der mechanischen vergleichbare Deformierung des Knochens möglich ist.
Darüber hinaus fanden die Autoren, daß diese Effekte nicht an lebende Zellen gebunden sind, sondern sahen als den Träger der Piezoelektrizität das Kollagen an. Durch Scherwirkung des einwirkenden Stress an den

Fibrillen des Kollagens könnte nach ihrer Ansicht ein Potential hervorgerufen werden.
BASSETT und BECKER griffen diese Aspekte auf und arbeiteten auf diesem Gebiet weiter und konnten an Versuchen mit Ratten und Katzen weitere Erkenntnisse gewinnen. Ebenso SHAMOS und LAVINE.
Ihrer Ansicht nach ist die Potentialdifferenz von der Größe der Belastung und die Art der Polarisation des Knochens von der Richtung der einwirkenden Kraft abhängig.
Auch konnten BASSETT et al. durch ihre Messungen biphasische Potentiale aufzeigen, die Ihrer Meinung nach nicht nur vom piezoelektrischen Effekt bedingt waren, sondern noch von einer weiteren Eigenschaft, die sie dem Knochengewebe zusprachen. Sie stellten nämlich eine Halbleiter-Gleichrichtertheorie auf. Diese Theorie basiert auf dem Aufbau des Knochens aus Kollagen, Hydroxylapatit und Mucopolysaccharid. Sie nahmen an, daß an den Verbindungsstellen zwischen Kollagen und Apatit piezoelektrische Potentiale entstehen. Sie bezeichneten das Kollagen als N (= negativ) und das Apatit als P (= positiv) und die Verbindungen als P-N-Verbindungen oder als P-N-Generatoren.
Bei Belastung würden die Ladungsträger verlagert werden und wenn die Belastung endet, würden durch deren Rückfluß eine Neutralität wieder hergestellt werden, was einem gegenläufigen Strom entspräche und somit die biphasischen Potentiale bedingen würde. Nach Ansicht von BASSETT seien jedoch diese biphasischen Potentiale unwirksam, um Zelltätigkeiten anzuregen; vielmehr nahm er an, daß durch die P-N-

Generatoren die Signale umgeformt würden.
Diese Theorien über die piezoelektrischen Eigenschaften des Knochens blieben natürlich nicht unangefochten, besonders die Theorie der biphasischen Welle wurde von SHAMOS und LAVINE als artefiziell bedingt abgelehnt. Ihrer Meinung nach würde die Polarisierung proportional der einwirkenden Kraft und ohne negative Nachschwankung entstehen.
Sie führten diese Ergebnisse vielmehr darauf zurück, daß im feuchten Milieu die Meßergebnisse durch Ionen- und Elektronenfluß beeinflußt werden würden.
Sie sprachen dem Knochen die von BASSETT et al. angeführten Halbleiter- und Gleichrichtereigenschaften ab.
Unbestritten blieb jedoch, daß es am Knochen ein Piezopotential gibt.
Es entsteht, wenn ein funktioneller Druck auf den Knochen wirkt und daraus die Knochenelemente die Form des Knochens bedingen.
Ähnliches hatte bereits WOLFF 1892 in seinem Transformationsgesetz beschrieben, worin er das Knochenwachstum von seiner funktionellen Belastung abhängig machte; "Funktion bildet Struktur". BECKER, BASSETT et al. änderten dieses Gesetz ab, indem sie die piezoelektrischen Potentiale als wichtigen Bestandteil der Wachstumsstimulation einführten.
Das umseitig stehende Schema, das aus der Arbeit (6) von BECKER, BASSETT et al. übernommen wurde, soll das Gesagte näher erläutern und die Beziehungen und Abhängigkeiten unter den einzelnen Komponenten

sichtbar machen.




3.) Anregung des Knochenwachstums durch elektrische Felder:

Ausgehend und aufbauend auf diesen Theorien vom piezoelektrischen Verhalten des Knochens versuchten YASUDA, NOGUCHI und SATA 1955 die Knochenneubildung im Tierversuch anzuregen. Sie ließen elektrischen Gleichstrom aus 1,5 - Volt - Batterien direkt auf die Knochen mittels Elektroden einwirken.
Sie konnten zwischen den eingepflanzten Elektroden Knochenkallus in Form von Knochenleisten erzeugen, den sie "Kallus ohne Fraktur" nannten.
Sie stellten auch eine Abhängigkeit der Kallusbildung von der Intensität des applizierten Stromes fest. Bei 1 - 10 µA erzielten sie Knochenleisten, bei über 100 µA knorpeligen Kallus, und bei Stromstärken über 1 mA konnten sie sogar eine Destruktion des Knochens im Bereich der Elektroden nachweisen.

IIDA wendete statt Gleichstrom Wechselstrom an und konnte ebenfalls Kallus hervorrufen.
Auch BASSETT, PAWLUK und BECKER arbeiteten mit Gleichstrom in einer Stärke von 1 - 100 µA an Oberschenkelknochen von Hunden. Sie konnten nach dreiwöchigem Versuch reifen Knochen nahe der Kathode und Knochenabbau bis zur Nekrose an der Anode feststellen.
Ebenfalls mit Gleichstrom untersuchten ANDREWS und FRIEDENBERG das galvanometrische Verhalten der Knochen von Neuseeland-Kaninchen. Sie brachten 1,5 - 100 µA starke Ströme an die Knochen heran und konnten bei 10 - 50 µA Knochen- und Knorpelneubildungen an der Kathode und Destruktion am positiven Pol hervorrufen. Bei hohen Stromstärken, etwa 100 µA, konnten auch sie einen starken Abbau an beiden Polen feststellen.
Mc ELHANEY, STALNAKER und BULLARD ließen Gleich- und Wechselstrom auf Rattenfemora einwirken, die im Gipsverband ruhiggestellt waren. Die 200 - Volt - Wechselstromapplikation mit 30 Hertz Frequenz zeigte im Vergleich der Werte des spezifischen Gewichts, des Knochengewichts, der Corticalisdicke, der Härte, der Osteonenzahl und chemischer Analysen mit den Werten des ebenfalls ruhiggestellten, aber unbehandelten Kontrollfemur der gleichen Ratte einen geringeren durch Inaktivität bedingten Knochenverlust. Im Vergleich zur 100 - Volt - Gleichstromapplikation und zur 200 - Volt - Wechselstromapplikation mit einer Frequenz von 3 Hertz zeigte diese Versuchsreihe bei höherfrequentem Wechselstrom die deutlichsten Effekte. Um das Längenwachstum von Röhrenknochen anzuregen, ließen MINKIN et al. Gleichstrom aus 1,4 - Volt - Hör-

batterien mit 70 µA auf die Femurepiphysenplatten von Kaninchen einwirken. Eine Längenzunahme konnte nicht gesichert nachgewiesen werden.
Ebenso konnten auch FRIEDENBERG und KOHANIM keinen Längenzuwachs durch Elektrodenimplantate, die einen elektrischen Gleichstrom der Stärke von 3 - 13 µA auf die Tibia-Epiphyse übertrugen, erzeugen.
Auch durch die Versuche mit Kaninchen die WILSON zum Zweck der Stimulierung des Längenwachstums durchführte, konnten keine gesicherten positiven Ergebnisse erzielt werden.
Bei den meisten hier kurz aufgeführten Arbeiten wurde versucht, das Knochenwachstum mittels direkter Gleichstromapplikation zu fördern. Dieses Prinzip wurde auch in der Zukunft beibehalten; es wurde aber zusätzlich vermehrt mit Wechselstrom gearbeitet, und zwar sowohl mit niederen als auch mit hohen Frequenzen.
Seit ungefähr 10 Jahren beschäftigten sich auch deutsche Wissenschaftler mit der Knochenwachstumsstimulation durch elektrische Felder.
Besonders WEIGERT et al. kann man hier nennen. Sie führten Untersuchungen an Schafen und Kaninchen durch.
An Schafen konnten sie die durch Frakturen bedingten Potentiale an Osteotomien durch elektrischen Gleichstrom nachahmen und verstärken.
Sie kontrollierten die Potentialveränderungen, die bei Applikation von elektrischem Strom auftraten.
WEIGERT et al. konnten bestätigen, daß an der Oberfläche von Knochen in vivo eine Polarisierung auftritt, die durch zusätzliche Potentiale aus äußeren Stromquellen umgekehrt werden kann. Die vor der

Stromapplikation sich gegenüber der proximalen Metaphyse der Kaninchentibia elektro-positiv verhaltende Diaphyse, zeigte danach ein elektro-negatives Verhalten.
Genauso wie BASSETT et al. konnten die oben genannten Autoren den am intakten Röhrenknochen (Kaninchentibia) gemessenen Piezopotentiale biphasische Form zusprechen. Dagegen bezeichneten sie die an osteotomierten Tibien gemessenen Potentiale als monophasisch, genauso an mit Osteosyntheseplatten stabilisierten Knochen.
Auch WEIGERT et al. versuchten das Längenwachstum zu stimulieren, was aber nicht gelang. Sie wendeten induktiven Wechselstrom an. Aber es gelang ihnen damit die endostale Knochenneubildung an der Kaninchentibia zu fördern. Sie konnten eine beschleunigte knöcherne Heilung von Osteotomien durch ein Induktionsfeld, vermittelt durch eine Sekundärspule und Osteosyntheseplatten an den Querosteotomiestellen, im Rechts-Links-Vergleich der beiden Tibien eines Kaninchens, herbeiführen.
Mit Batterie-Gleichstromeinheiten, die über Elektroden direkt auf die zu untersuchenden Knochen einen Strom der Stromstärke von 35 µA heranbrachten, konnten sie nach 8 Wochen Behandlung an Kaninchentibien eine Wachstumsbeschleunigung von 3 - 4 mm erzielen.
Viele dieser besprochenen Arbeiten mit elektrischen Feldern konnten geringe positive Auswirkungen des Stromes auf das Knochenwachstum zeigen; es gelang aber kaum, die elektrischen Potentiale zur gezielten Wachstumsstimulierung einzusetzen.

4.) Pulsierende Magnetfelder:

Anfang der siebziger Jahre fanden die Untersuchungen der Magnetfeldwirkung auf das Knochenwachstum zunehmendes Interesse.
Hier sind vor allem KRAUS und LECHNER zu nennen, die Untersuchungen mit langsam alternierenden elektrischen und magnetischen Potentialen an Tieren (Schafen und Kaninchen) vornahmen und daraus dann Schlüsse auf die möglichen Wirkungen der Magnetfelder zogen.
Die Autoren nahmen an, daß das elektrische Potential vorwiegend die elektrophoretischen Prozesse der Kristallbildung, also der Mineralisierung der Knochenmatrix beeinflußt, wogegen das magnetische Potential zu einer verstärkten Vaskularisierung führt.
Diese verstärkte Blutgefäßbildung konnten sie in ihren Versuchen nachweisen und erklärten diesen Effekt durch die vom Magnetfeld bedingte verstärkte Sauerstoffabgabe ins Gewebe, was durch die paramagnetischen Eigenschaften der Sauerstoff - Hämoglobin - Komplexbindung erklärt wurde. Die verstärkte Sauerstoffutilisation führte in diesem Bereich zu einem Absinken des Sauerstoffpartialdruckes und stellt somit einen Reiz zur verstärkten Ausnützung der vorhandenen Blutgefäße und zur zusätzlichen Neubildung von Gefäßen dar.
KRAUS brachte dann das von BASSETT erweiterte WOLFFsche Transformationsgesetz in Form einer Formel in direkter Beziehung zur Piezoelektrizität des Knochens, wobei er die elastische Dehnung (e) der elektrischen Polarisierung (P) gegenüberstellte; das heißt, man kann die natürliche mechanische Belastung durch die

Applikation elektrischer Felder ersetzen, die der natürlichen Reparation überlegen sind.
Formel nach KRAUS (23): Piezoelektrizität und WOLFFsches Gesetz

$$Z \cdot s + E \cdot d = (e) \rightleftarrows (P) = Z \cdot d + E \cdot \chi$$

elastische Dehnung $\triangleq$ elektrische Polarisation

Funktion bildet Struktur

Z - mechanische Spannung
s - Elastizitätskoeffizient
E - elektrisches Feld
d - piezoelektrischer Koeffizient
$\chi$ - dielektrische Suszeptibilität

Für KRAUS und LECHNER stand besonders die Anwendung der Magnetfeldtherapie für die Heilung von Knochendefekten im Vordergrund. Im Tierversuch entwickelten sie Methoden und Geräte für die spätere klinische Anwendung der pulsierenden Magnetfelder. Die percutane Applikation der Elektropotentiale wurde schnell zugunsten der einfacheren und ungefährlicheren Induktionsmethode verlassen.
Angewandt wurden niederfrequente Wechselströme aus Funktionsgeneratoren, die in Feldspulen ein Induktionsmagnetfeld erzeugten und dadurch im Osteosynthesematerial (Platten und Nägel), die auch Spulen (Übertrager) enthielten, ein zusätzliches Magnetfeld induzierten, das direkt auf den Osteotomiespalt oder

frakturierten Bereich des Knochens wirkten.
Mit dieser Methode gelang es den Autoren, defektes Knochengewebe im Tierversuch durch eine funktionsfähige Struktur zu ersetzen.
Da durch Kontrolle der Elektrolyte, der Blutbilder, der EKGs und Elektrophoresen nachgewiesen wurde, daß durch längere therapeutische Magnetfeldbehandlung diese Werte nicht von den Normwerten nach operativen Eingriffen abwichen und auch sonst keine Nebenwirkungen auftraten, die Methode also als ungefährlich angesehen werden konnte, wurde diese Behandlung auch am Menschen angewandt.
Im Vordergrund dabei standen die Defektpseudarthrosen, infizierte Pseudarthrosen, Spontanfrakturen, Frakturheilungsstörungen und Lockerungen von Endoprothesen, die sich durch die bekannten konservativen und chirurgischen Behandlungsverfahren als therapieresistent erwiesen hatten.
Das schon oben kurz beschriebene Verfahren, das von KRAUS und LECHNER entwickelt wurde, hat den Vorteil, daß die Patienten nicht durch zusätzliche Operationen belastet werden müssen.
Die für die Induktion notwendigen Sekundärspulen werden als Übertrager in das Osteosynthesematerial (sogenannte "Elektro-Nägel") eingearbeitet und während der operativen Frakturversorgung eingebracht.
Besonders die devitalisierten, infizierten und pseudarthrotisch veränderten Knochenbezirke reagieren nicht wie normaler Knochen, das heißt, sie leiten die elektrischen Strominformationen schlecht und können somit die Reizzustände der elektrischen und magnetischen Felder nicht weiterleiten; deshalb bringt

man in diese Knochenbezirke Spongiosa ein (Spongiosaplastik) und läßt dann die Therapiefelder einwirken, wobei die Stromrichtung parallel zur Knochenlängsachse verlaufen muß, damit der Widerstand im Knochengewebe nicht zusätzlich erhöht wird.
Die sich an die beschriebenen operativen Frakturversorgungen und Spongiosaplastiken anschließende Magnetfeldtherapie muß über mehrere Wochen täglich, sowohl stationär als auch ambulant erfolgen, wobei niederfrequente Wechselströme (2 - 28 Hertz) in der Feldspule, die die betreffende Extremität umgibt, ein Magnetfeld induzieren, das wiederum im Übertrager des Osteosynthesematerials ein Sekundärmagnetfeld hervorruft.
Die dabei auftretende Stromdichte beträgt 1 - 2 $\mu A/mm^2$ und die Felddichte 100 mV/cm.
Innerhalb von wenigen Jahren konnten KRAUS und LECHNER zahlreiche Heilungserfolge aufweisen. Hartnäckige Pseudarthrosen waren knöchern durchbaut, schlecht heilende Frakturen festigten sich und gelockerte Endoprothesen machten keine Beschwerden mehr.
Über Mißerfolge dieser Therapie liegen leider kaum Veröffentlichungen vor.
Auch TÄGER und WIENDL et al. berichteten in der Folgezeit über ihre Erfahrungen mit dem Magnetfeldverfahren des Systems KRAUS-LECHNER und stellten neben zahlreichen Heilungen den günstigen Einfluß auf problematische und mehrfach operierte Frakturen heraus, die sich vorher nicht festigten.
Diese Erfolge der Magnetfeldtherapie wurden von vielen Seiten angezweifelt.
Deshalb ergab sich die Notwendigkeit,die Ergebnisse

in Tierversuchen durch objektive Parameter zu belegen. So wendeten BLÜMLEIN et al. die Therapie nach dem System KRAUS-LECHNER an künstlich erzeugten reaktionsarmen Pseudarthrosen bei durch Kälteschäden devitalisierten Beagle-Radii im Rechts-Links-Versuch an. Nach einer Therapiedauer von 3 Monaten konnten sie keine Wirkung der pulsierenden Magnetfelder anhand von Mikroradiographien und mikroskopischen Präparaten, die im Hellfeld und im Fluoreszenzlicht ausgewertet wurden, feststellen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen STÜRMER et al., die mit Staphylokokken infizierte Defektpseudarthrosen an Beagle-Hunden nach elektromagnetischer Wechselstromstimulation im Rechts-Links-Vergleich im Hinblick auf Knochenneubildung, Defektüberbrückung und Gefäßbildung im Knochen- und Narbengewebe untersuchten. Auch sie konnten durch Mikroangio- und -radiographien keinen signifikanten Unterschied, der auf die Behandlung zurückzuführen gewesen wäre, finden.

Ebenfalls an Beagle-Hunden führten STUHLER et al. Untersuchungen mit dem niederfrequenten Wechselstromsystem durch. Bei einem Teil der Tiere wurden die zu untersuchenden Ulnae osteotomiert, bei den anderen Hunden wurden sie außer der Marknagelimplantation unbeschädigt belassen. Die Marknägel waren wechselweise (rechts-links) mit oder ohne Übertrager versehen. Während der Versuchsdauer wurden mit Fluoreszenzstoffen Markierungen gesetzt, die die Größe der wachsenden Osteone zu genau festgelegtem Zeitpunkt definierten.

Diese markierten Haverschen Systeme wurden dann nach

Versuchsende durch Fluoreszenzmikroskopie und Flächenausmessung als objektive Parameter verwendet.
Als Ergebnis konnten die Autoren vermerken, daß die Mittelwerte der therapierten Ulnaosteone die entsprechenden Werte der Kontrollseite übertrafen.
Dadurch konnten sie die Aussage einer meßbaren Beeinflußung des Knochenwachstums durch niederfrequente Elektromagnetfelder machen.
Die gemessenen Unterschiede waren allerdings nicht so groß, daß sie als signifikant, das heißt als statistisch gesichert angesehen werden konnten.
Im Unterschied zur oben beschriebenen Arbeit, bei der das Wachstum von Ulnaosteonen elektromagnetisch durch Elektro-Nagel in der Ulna stimuliert wurde, erfolgte bei der vorliegenden Untersuchung die Stimulation durch pulsierende Magnetfelder, ohne daß der zu untersuchende Radius verletzt wurde.
Der Einfluß der Magnetfeldtherapie auf das Wachstum der Radiusosteone soll ebenfalls durch Ausmessen und Berechnen der fluoreszenzmarkierten Osteone und durch Vergleich von therapierter mit nicht therapierter Seite des gleichen Hundes aufgezeigt werden.

## III. T I E R E - M A T E R I A L - G E R Ä T E

### 1.) Tiere:

Als Versuchstiere wurden 11 Beagle-Hunde ausgewählt. Sie waren alle rund 1 Jahr alt und wogen ca. 10 kg.
Die Hunde befanden sich in einem sehr guten Allgemeinzustand, was für die Versuchsdurchführung, besonders im Hinblick auf die geplanten Operationen, von Bedeutung war.

Damit man verschiedene Aspekte während der Magnetfeldbehandlung berücksichtigen konnte, wurden die 11 Tiere in 3 Gruppen eingeteilt.
Folgendes Verteilungsschema wurde dabei gewählt:

| Gruppe I: | Gruppe II: | Gruppe III: |
|---|---|---|
| Tier Nr.: 286 | Tier Nr.: 289 | Tier Nr.: 781 |
| 287 | 294 | 782 |
| 288 | 295 | 784 |
| | 296 | |
| | 299 | |

2.) Geräte und Materialien:

| | |
|---|---|
| Elektromagnetischer Wechselstromfunktionsgenerator - Typ -"Magnetodyn 5" | Fa. Jaeger und Koellisch, München |
| Magnetfeldspulen | Fa. Jaeger und Koellisch, München |
| Küntscher-Marknägel mit und ohne Übertrager (nach Maßanfertigung) | Fa. Jaeger und Koellisch, München |
| Stoffwestchen | Fa. Bogner, München |
| Fluoreszenzmikroskop mit aufgesetzter Kamera | Fa. Leitz, Wetzlar |
| Bildanalysator | Fa. Leitz, Wetzlar |
| Kleincomputer | Fa. Leitz, Wetzlar |
| Dia-Projektor | Fa. Rolley |
| Knochensäge | Fa. Leitz, Wetzlar |
| Agfa-Farbumkehrfilme 50 L | Fa. Agfa, Bonn |

Fluorochrome:

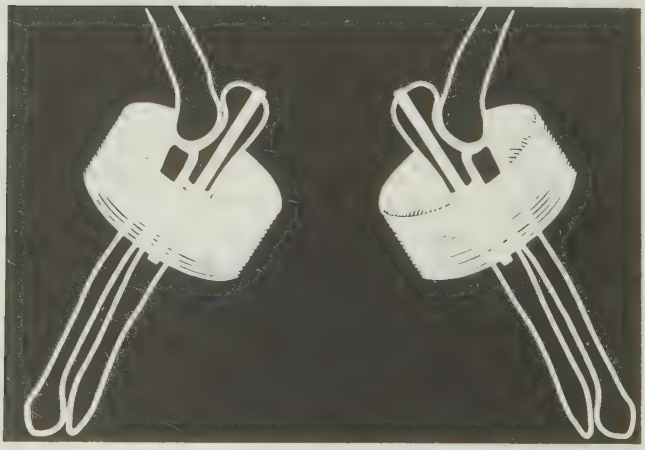
| | |
|---|---|
| - Calcein | Fa. Merck, Darmstadt |
| - Rolitetracyclin (Reverin$^{R}$) | Fa. Hoechst, Frankfurt-H. |
| - Xylenolorange | Fa. Merck, Darmstadt |
| Thalamonal$^{R}$ | Fa. Janssen, Düsseldorf |
| Atropin (Atropinum sulfuricum$^{R}$) | Fa. Cascan, Wiesbaden |
| Thiopental-Natrium (Trapanal$^{R}$) | Fa. Byk Gulden, Konstanz |
| Fentanyl$^{R}$ | Fa. Janssen, Düsseldorf |
| Lachgas (Stickoxydul) | |
| Nembutal$^{R}$ | Fa. Abbott, Ingelheim |
| Trijodpyrrolidon | |
| Xylol | Fa. Merck, Darmstadt |
| Methylmethacrylat | Fa. Merck, Darmstadt |
| Benzylperoxyd | Fa. Merck, Darmstadt |
| Äthanol | Fa. Merck, Darmstadt |

## IV. ERLÄUTERUNGEN ZUM VERSUCH

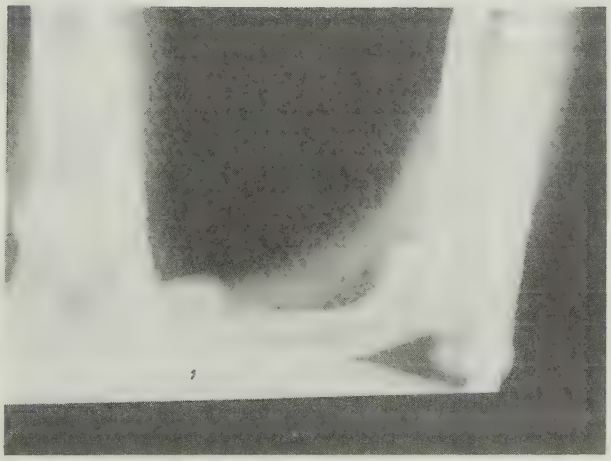
### 1.) Methodik:

Angewandt wurde eine elektromagnetische Feldbehandlung mit dem niederfrequenten Wechselstromfunktionsgenerator - Typ Magnetodyn 5 - des Systems KRAUS-LECHNER.
Dieses Gerät erzeugt physiologische, nicht-thermisch wirkende elektromagnetische Felder zur therapeutischen Nutzung von funktionellen elektrischen und magnetischen Potentialen.
Dafür war es notwendig, die Tiere einer unten näher beschriebenen Operation zu unterziehen, wobei ein Marknagel in die Ulna beider Vorderläufe eingepflanzt wurde. Da der Versuch als Rechts-Links-Vergleich angelegt wurde, enthielt nur jeweils ein Nagel einen Übertrager, der aus einer eingearbeiteten Sekundärspule bestand. Die Nageloberfläche hatte zusätzlich 2 Flächenelektroden (= "Elektro-Nagel").
Um die Vorderläufe der Tiere wurden nun Feldspulen für die Primärinduktion mittels Stoffwestchen, mit denen die Hunde "bekleidet" waren, befestigt.
Um für die Kontrollseite gleiche Bedingungen zu schaffen, war dieses Bein ebenfalls von einer Spule umgeben, die jedoch nicht an das Magnetodyn - Gerät angeschlossen wurde.
Die Primärspule wurde nun auf der Behandlungsseite mit einem niederfrequenten Wechselstrom (38 Hz) aus dem Funktionsgenerator durchflossen.
Es wurde dadurch ein magnetisches Kraftlinienfeld aufgebaut, das im Elektro-Nagel der Ulna ein sekundäres Induktionsmagnetfeld mit einer Spannung von ca. 500 mV bedingte.

Die beiden Knochen (Ulna und Radius) lagen also im Bereich dieser Magnetfelder, dem primären und dem induzierten, wobei die Ulna im Hauptbereich des Induktionsfeldes lag. Der für diesen Versuch interessierende Radius wurde von diesem sekundären Induktionsfeld vermutlich nur abgeschwächt berührt, wogegen er voll im Bereich des von der Primärspule erzeugten Magnetfeldes lag. Das macht auch die nachfolgende Abbildung nochmals deutlich.



Auf der untenstehenden Photographie sieht man ein Röntgenbild, das die zwei Vorderläufe eines Versuchshundes darstellt. An diesem Röntgenbild kann man die Lage der in den Markraum der Ulnae implantierten Nägel sehen.



2.) Theoretische Erläuterungen:

Wichtig erschien, daß der Radius durch Operationsverletzungen nicht betroffen wurde. Die natürliche Struktur und Anordnung der zu untersuchenden Osteone sollte unangetastet bleiben.
Die Osteone als kleinste Knocheneinheiten, auch Haversches System genannt, eigneten sich für die durchgeführten Messungen, weil sie die Möglichkeit der Fluoreszenzmarkierung bieten. Sie lagern die applizierten Fluorochrome in ihre Zwischensubstanz ein, wodurch ihr Größenzuwachs zu einem bestimmten Zeitpunkt definierbar ist.
Diese Fluoreszenzmarkierungen wurden wöchentlich gesetzt, so daß die Fläche zwischen den Fluoreszenzringen jeweils dem Wachstum einer Woche entsprach ($R_1$, $R_2$, $R_3$, $R_4$, $R_5$).
Wichtig für die Gültigkeit der angestellten Berechnungen darf auch das geregelte Wachstum der Osteone angesehen werden, das nämlich von außen nach innen erfolgt, so daß die 1. Markierung immer der äußerste Fluoreszenzkreis ist.
Das bedeutet, daß zum Zeitpunkt der 1. Markierung (5. Tag post operationem) die Größe eines Osteons schon festgelegt ist, die es am Ende des Versuchs haben wird.
Osteone haben auch keine einheitliche Größe; man kann vielmehr innerhalb eines Knochens erstaunliche Schwankungen feststellen.
Aus diesem Grund kann die absolute Größe kein objektiver Parameter sein, dagegen jedoch das Wachstum der einzelnen Perioden im Verhältnis zum Gesamtwachstum.

## V. V E R S U C H S A B L A U F

### 1.) Operationen:

Die Experimente begannen mit der Vorbereitung der 11 Hunde für die Operationen.
Der Gesundheitszustand wurde überprüft, danach wurden die Vorderläufe der Tiere einen Tag vor der Operation rasiert und mit Trijodpyrrolidon desinfiziert.
Die gleichen hygienischen Vorkehrungen wurden auch nochmals unmittelbar vor den einzelnen Eingriffen getroffen. Diese wurden im Tier-OP unter sorgfältigen aseptischen Kautelen vorgenommen.
Für die Narkose wurden die Hunde intubiert, wozu sie vorher 0,5 mg Atropin und 0,5 mg Thalamonal$^{R}$ injiziert bekamen.
Die Narkose wurde mit 5 mg Trapanal$^{R}$ pro kg Körpergewicht durchgeführt.
Für die Neuroleptanalgesie wurde 0,03 - 0,04 mg Fentanyl$^{R}$ pro kg Körpergewicht, kombiniert mit einem Lachgas/Sauerstoff-Gemisch im Verhältnis 1 : 2, verwendet.
Bei ausreichender Narkosetiefe wurde proximal des rechten und linken Ellenbogengelenkes inzidiert und beide Ulnae aufgebohrt.
In jede Ulna wurde wechselweise ein Behandlungs- bzw. Kontrollnagel in den Medullarkanal eingebracht.
Der Radius wurde von operativen Manipulationen verschont.
Die Operationswunde wurde danach lege artis geschlossen und vernäht.
Die Tiere blieben dann bis zum Aufwachen aus der Narkose unter ständiger Überwachung.

Alle Hunde überstanden die Eingriffe ohne Schaden und haben die operierten Vorderläufe schon bald wieder belastet.
Infektionen der Operationswunden wurden während der gesamten Versuchsdauer bei keinem der Tiere beobachtet.

2.) Fluoreszenzmarkierungen:

Nach einer Schonphase von 5 Tagen wurden den Tieren die ersten zum Teil unterschiedlichen Markierungen (siehe hierzu die Graphik des Versuchsablaufs) mit den Fluorochromen (Calcein, Tetracyclin, Xylenolorange) gesetzt.
Die Fluoreszenzstoffe wurden den Tieren alle 7 Tage zur selben Stunde injiziert.

3.) Magnetfeldbehandlung:

Gleichzeitig mit der 1. Markierung begann bei der Gruppe III schon die Behandlungsperiode.
Dazu mußten die Tiere jeden Tag mit den Stoffwesten bekleidet werden, in denen ihre Vorderläufe steckten und die die Primärspule unterhalb des Ellenbogengelenkes fixierten.
Behandelt, das heißt Erzeugen pulsierender Magnetfelder in den Primärspulen, wurde täglich von $16.^{00}$-$7.^{00}$ Uhr, also 15 Stunden lang.
Es wurden immer gleichbleibende Intensitäten (38 Hz) durch den Wechselstromfunktionsgenerator eingegeben.
Die Behandlungsphase für die Gruppen I und II begann erst mit den 2. Markierungen nach 7 Tagen, also am 12. Versuchstag.
Diese erste Markierungswoche kann daher für diese Tiere als Kontrollperiode angesehen werden.

Der Versuch erstreckte sich für Gruppe I über 4 Perioden (4 x 7 Tage), was an den Osteonen später als 5 Fluoreszenzringe nachweisbar war.
Die Gruppen II und III erhielten 6 Markierungen, wobei für Gruppe II 4 Wochen Therapie und für Gruppe III 5 Wochen Therapie angewandt wurden.
Der Versuch endete für Gruppe I am 34. Tag, für Gruppe II am 41. Tag und für Gruppe III am 42. Tag post operationem durch eine Überdosis Nembutal.

4.) Präparation:

Die Radii wurden für den im Rahmen dieser Arbeit dargelegten Versuch und die Ulnae für eine andere, sich speziell mit den Auswirkungen des Elektromagnetfeldes auf die Ulnaosteone beschäftigende Untersuchung, entnommen. Danach wurden die Knochen (Radii) in einer aufsteigenden Alkoholreihe (70 %, 96 %, 99 %) entwässert und 2 Tage in Xylol eingelegt.
Anschließend wurden sie mit Methylmethacrylat, sowie mit Methylmethacrylat und Benzoylperoxyd (2 g/100 ml) für weitere 2 Tage durchtränkt. Zum Abschluß wurden die Knochen in Methylmethacrylat (MMA II) eingebettet und ausgehärtet.
Aus den so präparierten Radii wurden dann Schnitte von 300 - 400 µm Stärke senkrecht zur Knochenachse hergestellt. Es wurde darauf geachtet, daß hauptsächlich der proximale Bereich (Schwerpunkt der Magnetfeldapplikation) des Radius dafür herangezogen wurde.
Diese Schnitte wurden dann noch auf 60 - 70 µm heruntergeschliffen, in Eukitt eingebettet und fixiert. Es standen auf diese Weise rund 350 Präparate zur weiteren Auswertung zur Verfügung.

VERSUCHSABLAUF:

| Gruppe: | I: 286 | II: 289+ | III: 781 |
|---|---|---|---|
| | 287 | 294 | 782 |
| | 288 | 295 | 784 |
| | | 296 | |
| | | 299 | |

| Tage: | Markierungen: | 5 | 6 | 6 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | ← OP | ← OP | ← OP |
| 5 | 1. | C | C | B C |
| 12 | 2. | B C | B C | T |
| 19 | 3. | T | T | T |
| 26 | 4. | T | T | T |
| 33 | 5. | C ✠ | C | T |
| 40 | 6. | | C ✠ | X |
| 42 | | | | ✠ |

Zeichenerklärung:

C - Calcein - 10 mg/kg KG

T - Rolitetracyclin (Reverin$^{R}$) - 10 mg/kg KG

X - Xylenolorange (Eger, Rittmann) - 0,5 ml/kg KG (3%)

OP- Operation, Marknagelimplantation in die Ulna

B - Beginn der Therapieperiode

✠ - Einschläfern der Hunde mit einer Überdosis Nembutal$^{R}$

\+ - die 1. Markierung war fluoreszenzmikroskopisch nicht nachweisbar

Verteilung der Behandlungs- und Kontrollspulen auf die Tiere:

| Nr. | Behandlung | Kontrolle |
|---|---|---|
| 286 | rechts | links |
| 287 | rechts | links |
| 288 | links | rechts |
| 289 | rechts | links |
| 294 | links | rechts |
| 295 | rechts | links |
| 296 | links | rechts |
| 299 | rechts | links |
| 781 | rechts | links |
| 782 | links | rechts |
| 784 | links | rechts |

Magnetfeldstärke:

Das auf die therapierten Radii einwirkende Magnetfeld hatte eine Stärke von ca. 80 Gauß; wobei der auf die Behandlungsspulen einwirkende Wechselstrom eine Frequenz von 38 Hz hatte.

5.) Fluoreszenzmikroskopie:

Mit dem Fluoreszenzmikroskop wurden anschließend bei einer Bestrahlung mit UV-Licht der Wellenlänge 420 - 460 nm aus den Präparaten die besten Osteone, das heißt Osteone mit allen, gemäß der Versuchsprotokolle zu erwartenden Markierungen, aufgesucht.
Außerdem wurden Osteone mit annähernd kreisrundem Wachstum bevorzugt.
Diese wurden dann durch eine auf das Mikroskop fixierte Kamera mit einer ca. 100-fachen (25 x 1,25 x 3,2) Vergrößerung auf Farbfilm abgelichtet.
Insgesamt gelang es,380 Diapositive herzustellen.

6.) Projektion:

Diese Diapositive wurden nun im Blindverfahren, das heißt,der Untersucher wußte nicht,ob das Osteon der Therapie ausgesetzt war oder nicht, weiter untersucht.
Aus den 380 zur Verfügung stehenden Photographien wurden die 220 geeignetsten Dias (10 von jedem Radius) ausgewählt, wobei hierbei die Schärfe der Abbildungen das entscheidende Kriterium war.
Anschließend wurden die Diapositive mit einem Projektor in einem Abstand von 0,70 m auf DIN A 4 - Papier projiziert und die Konturen der ringförmigen Markierungen mit einem feinen Bleistift darauf skizziert.
Nach diesem Verfahren wurden alle Dias auf Papier übertragen, wodurch von jedem Radius 10 Osteone zur Flächenbestimmung vorlagen.

Fluoreszenzmarkierte Osteone:

Vergrößerung auf den Photographien: ca. 300-fach
(25x1,25x3,2x3)

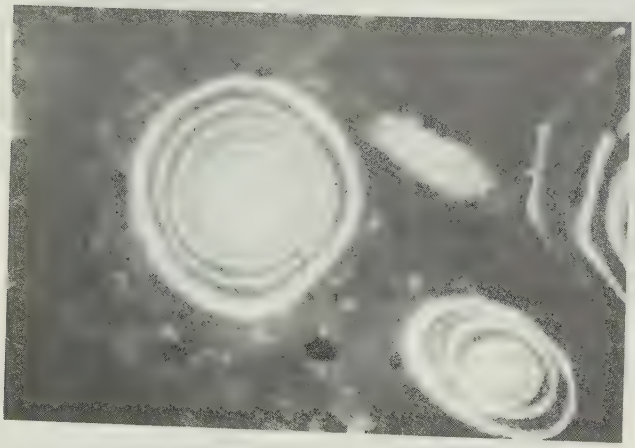
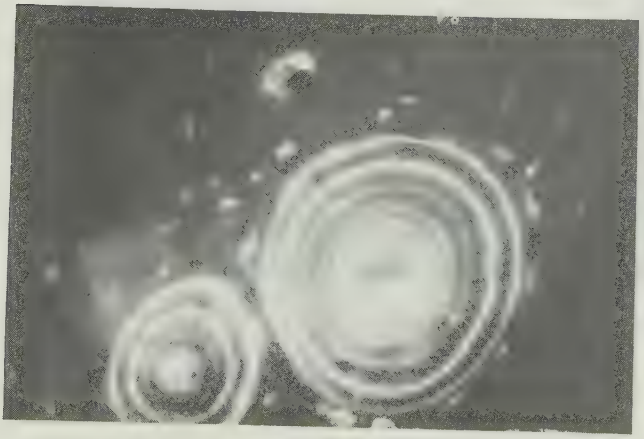


Bild 1: Durchmesser des Osteons: ca. 150 µm
6-fach markierte Osteone der Gruppe II;
Markierungsschema: C - C - T - T - C - C

Bild 2: Durchmesser des Osteons: ca. 180 µm



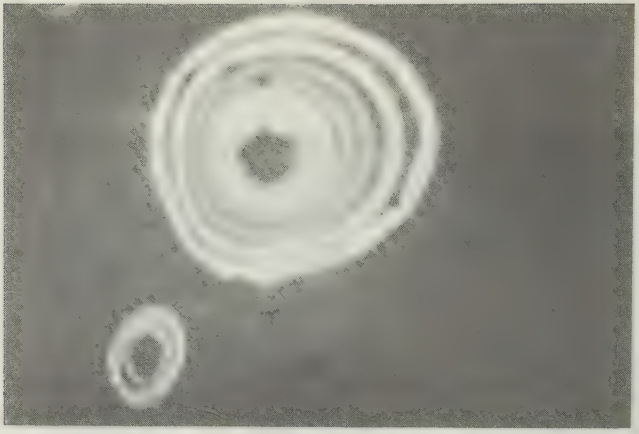


Bild 3: 5-fach markiertes Osteon der Gruppe I;
Markierungsschema: C - C - T - T - C
Durchmesser des Osteons: ca. 190 µm

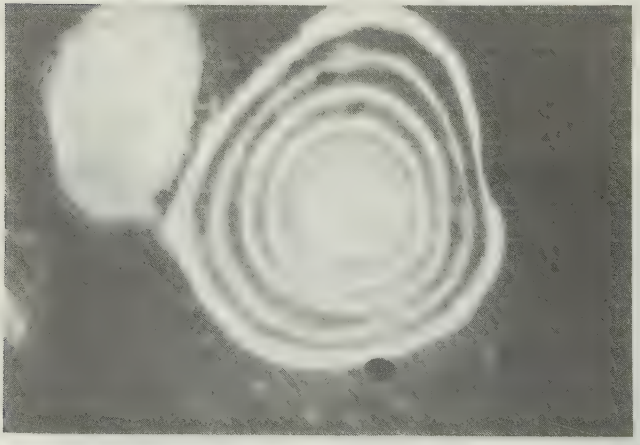


Bild 4: 6-fach markiertes Osteon der Gruppe III;
Markierungsschema: C - T - T - T - T - X
Durchmesser des Osteons: ca. 220 µm

7.) Ringflächenbestimmung:

Diese 220 skizzierten Osteone wurden nun durch einen Bildanalysator ausgemessen, das heißt, die Flächen der einzelnen Ringe zwischen den Markierungen wurde bestimmt.
Das erfolgte mit einem Kontaktstift, mit dem die mit Bleistift markierten Ringe abgefahren wurden.
Die Flächenwerte in $mm^2$ wurden vom Gerät für jeden Ring der einzelnen Osteone sofort ausgedruckt.

8.) Berechnungen:

Die Berechnungen konnten mit einem Kleincomputer durchgeführt werden, die auf den mit dem Bildanalysator bestimmten Flächen der einzelnen Osteonenringe aufbauten.
Wie schon in früheren Arbeiten (Stuhler et al.), so wurde auch hier der prozentuale Zuwachs und zusätzlich der Wachstumsfaktor, sowie dessen Differenzen untereinander, errechnet.
Die Formeln dafür konnten übernommen werden.

Zeichenerklärung:

$F_1$ - Fläche des 1. Ringes (zwischen 1. und 2. Markierung); analog $F_2$ (2. Ring), $F_3$, $F_4$, $F_5$.
$F_G$ - Gesamtfläche des Osteons (=100 %)
R - Wert (%-Zuwachs oder Wachstumsfaktor) für den betreffenden Ring (Zeitspanne jeweils 1 Woche), der nach den entsprechenden Formeln bestimmt wurde.

a) Prozentualer Zuwachs:

Der %-Zuwachs gibt das Wachstum nach bestimmten Zeitabständen im Verhältnis zur Gesamtgröße des Osteons nach Beendigung des Versuchs an (✠).

Zeitabstände zwischen den Markierungen: $R_1$ = 7 Tage
$R_2$ = 14 Tage
$R_3$ = 21 Tage
$R_4$ = 28 Tage
$R_5$ = 35 Tage

Die 1. Markierung (äußerster Fluoreszenzring) ist somit der Ausgangspunkt (Zeitpunkt 0) des Wachstums.

Formeln:

$$R_1 = \frac{F_1 \times 100}{F_G}$$

$$R_2 = \frac{(F_1+F_2) \times 100}{F_G}$$

$$R_3 = \frac{(F_1+F_2+F_3) \times 100}{F_G}$$

$$R_4 = \frac{(F_1+F_2+F_3+F_4) \times 100}{F_G}$$

$$R_5 = \frac{(F_1+F_2+F_3+F_4+F_5) \times 100}{F_G}$$

Aus den 10 Einzelwerten jedes Radius für den %-Zuwachs der entsprechenden Ringe wurde nun das arithmetische Mittel ($\bar{R}_1$, $\bar{R}_2$, $\bar{R}_3$, $\bar{R}_4$, $\bar{R}_5$) errechnet, das dann zu Vergleichszwecken zwischen Behandlungs- und Kontrollseite eines Tieres herangezogen wurde.

b) Wachstumsfaktor:

Der Wachstumsfaktor gibt die Tendenz des Wachstums innerhalb einer Markierungswoche an.
Ideal wären hierbei gleiche Werte für die 10 untersuchten Osteone eines Radius, da bei diesem Versuch mit konstanten Intensitäten therapiert wurde.
Dieses würde einem gleichförmigen Wachstum entsprechen.
Formeln:

$$R_1 = \frac{F_1 \times 100}{F_G}$$

$$R_2 = \frac{F_2 \times 100}{F_G - F_1}$$

$$R_3 = \frac{F_3 \times 100}{F_G - (F_1+F_2)}$$

$$R_4 = \frac{F_4 \times 100}{F_G - (F_1+F_2+F_3)}$$

$$R_5 = \frac{F_5 \times 100}{F_G - (F_1+F_2+F_3+F_4)}$$

Genau wie beim %-Zuwachs, so wurde auch hier aus den 10 entsprechenden Einzelwerten der arithmetische Mittelwert berechnet.

c) Wachstumsfaktorendifferenz:

Bei 7 Tieren (Nr. 286, 287, 288, 294, 295, 296, 299) war die 1. Markierungswoche ($R_1$) ohne Therapie gewesen, so daß man diesen $R_1$-Wert als Kontrolle ansehen kann.
Bei dem Hund mit der Nr. 289 war dieser 1. Markierungsring mikroskopisch und auf den Dias nicht nachweisbar; er wurde deshalb aus der Differenzberechnung herausgenommen.

Als interessanten Zusatz konnte man nun die Mittelwerte der einzelnen Markierungsperioden ($\bar{R}_1$, $\bar{R}_2$, $\bar{R}_3$, $\bar{R}_4$, $\bar{R}_5$) im Vergleich zwischen behandeltem und unbehandeltem Radius eines Tieres betrachten. (Siehe hierzu auch die Tabelle der Differenzen, Seite 47) Theoretisch müßte man nun annehmen können, daß die Wachstumsfaktoren bei den Tieren mit Kontrollperiode ($R_1$) während dieser Zeit annähernd gleich sein sollten. Da auch hier Diskrepanzen sichtbar wurden, lohnte sich ein Vergleich dieser $\bar{R}_1$-Differenzen zum mittleren Differenzwert($\bar{R}_{1-5}$) eines Tieres.

$\bar{R}_{1-5}$-Differenz: mittlerer Differenzwert; errechnet aus der Differenz der durchschnittlichen Mittelwerte

$$\frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \bar{R}_3 + \bar{R}_4 + \bar{R}_5}{5} = \bar{R}_{1-5}$$

$\bar{R}_1$ -Differenz: Differenzwert der Kontrollperiode

Wert für den Wachstumstrend = $\bar{R}_{1-5}$-Differenz - $\bar{R}_1$-Differenz

Damit läßt sich nun eine Aussage über den Wachstumstrend innerhalb der Behandlungszeit machen.

9.) Tabellen und graphische Darstellung der Mittelwerte:

- des %-Zuwachses (Seite 35 - 41)
- des Wachstumsfaktors (Seite 42 - 46)
- der Wachstumsfaktorendifferenz (Seite 47 - 51)

Die Tabellen zur Berechnung der Mittelwerte (%-Zuwachs und Wachstumsfaktor) finden sich im Anhang (Seite 56 - 66).

MITTELWERTE:

| %-Zuwachs | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $\bar{R}_1$ | $\bar{R}_2$ | $\bar{R}_3$ | $\bar{R}_4$ | $\bar{R}_5$ |
| 286 re B | 39,63 | 61,86 | 75,70 | 85,04 | - |
| 286 li K | 40,01 | 64,40 | 78,60 | 86,75 | - |
| 287 re B | 39,79 | 65,76 | 79,22 | 88,54 | - |
| 287 li K | 35,62 | 58,66 | 72,68 | 82,05 | - |
| 288 re K | 43,76 | 67,49 | 80,56 | 88,75 | - |
| 288 li B | 38,03 | 59,84 | 74,97 | 83,96 | - |
| 289 re B | 40,36 | 63,82 | 77,47 | 87,95 | - |
| 289 li K | 41,54 | 64,75 | 78,00 | 88,02 | - |
| 294 re K | 38,78 | 63,55 | 76,62 | 84,96 | 92,02 |
| 294 li B | 32,90 | 56,69 | 73,54 | 83,22 | 90,97 |
| 295 re B | 31,44 | 57,22 | 72,65 | 83,26 | 91,07 |
| 295 li K | 36,75 | 59,21 | 73,03 | 82,41 | 90,08 |
| 296 re K | 34,80 | 58,82 | 74,41 | 84,28 | 91,53 |
| 296 li B | 33,76 | 58,00 | 72,92 | 82,94 | 90,68 |
| 299 re B | 35,03 | 60,67 | 76,36 | 85,46 | 92,15 |
| 299 li K | 34,51 | 60,66 | 77,45 | 86,60 | 93,11 |
| 781 re B | 37,53 | 62,98 | 78,34 | 87,96 | 93,84 |
| 781 li K | 42,16 | 65,62 | 79,97 | 89,21 | 95,02 |
| 782 re K | 41,32 | 63,88 | 77,00 | 85,01 | 91,73 |
| 782 li B | 38,61 | 62,79 | 77,57 | 86,08 | 92,14 |
| 784 re K | 34,30 | 56,47 | 70,49 | 81,50 | 89,51 |
| 784 li B | 49,21 | 67,53 | 78,93 | 86,90 | 92,84 |

**Graphische Darstellung der Mittelwerte des prozentualen Zuwachses:**

**Zeichenerklärung:**

——— - Behandelte Seite

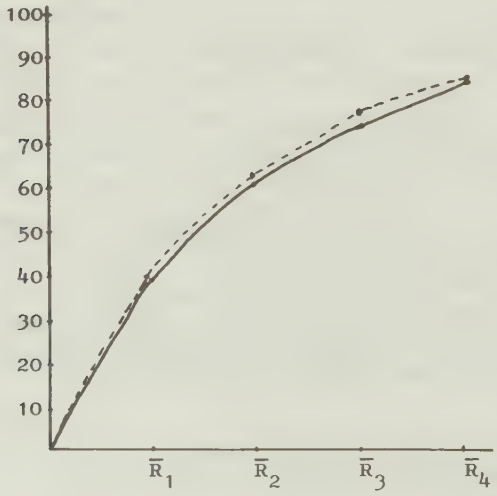
--- - Kontrollseite

R - Ring; die Fläche eines Osteons zwischen 2 Markierungen (7, 14, 21, 28, 35 Tage)

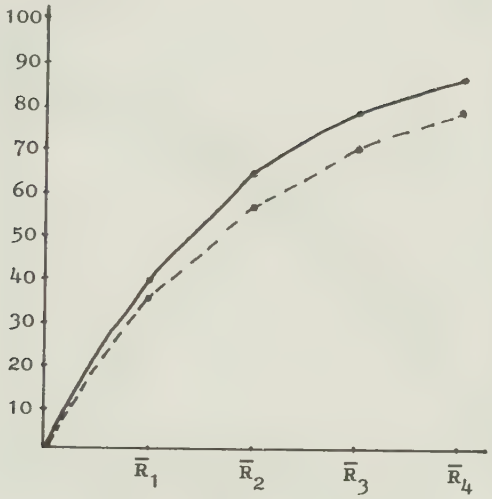
$R_1$ - %-Zuwachs des 1. Ringes eines Osteons; analog $R_2$, $R_3$, $R_4$, $R_5$

$\bar{R}_1$ - Mittelwert der 10 entsprechenden Einzelwerte eines Radius; analog $\bar{R}_2$, $\bar{R}_3$, $\bar{R}_4$, $\bar{R}_5$

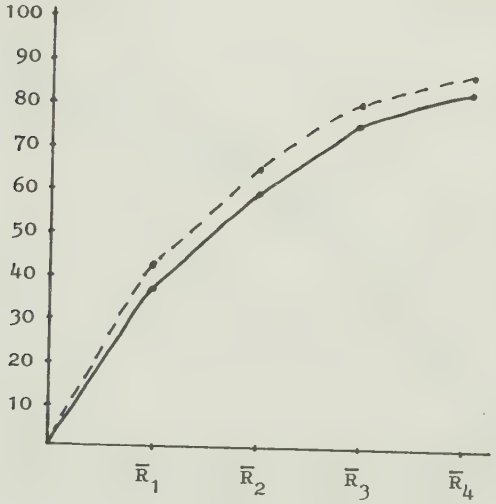
286: %-Zuwachs



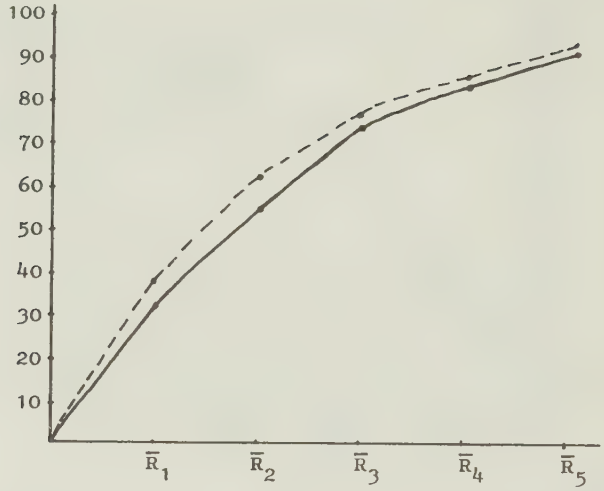
287: %-Zuwachs



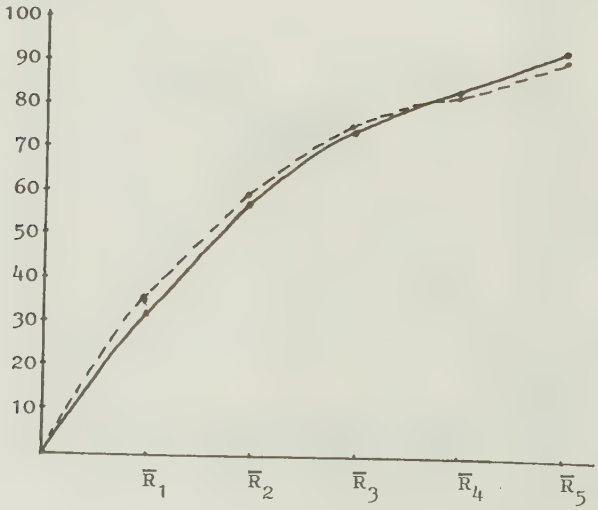

288: %-Zuwachs



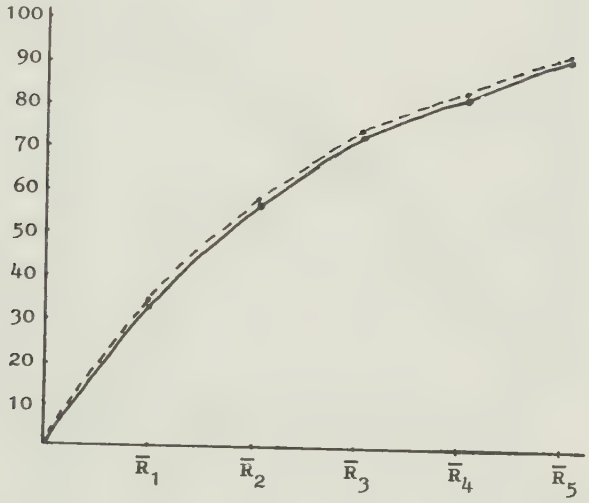
294: %-Zuwachs



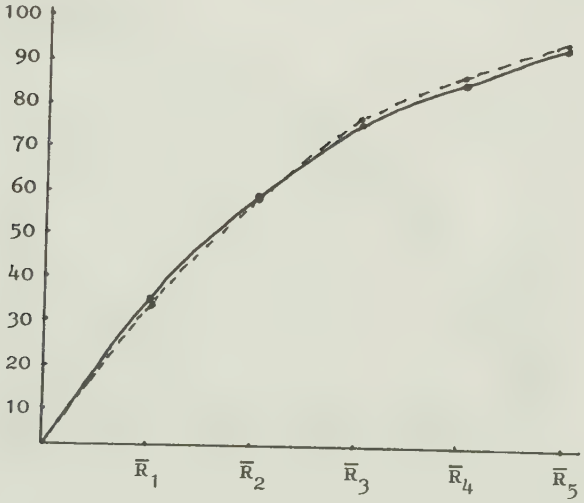

295: %-Zuwachs



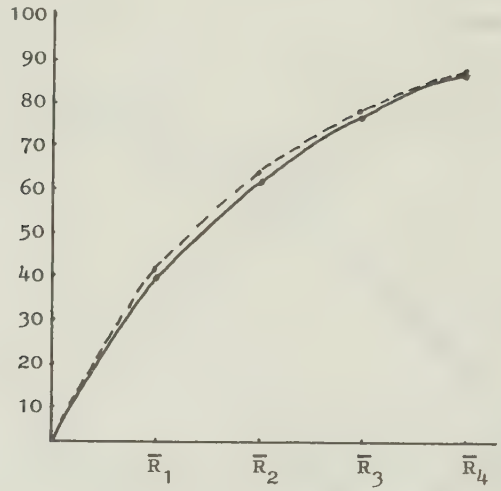
296: %-Zuwachs



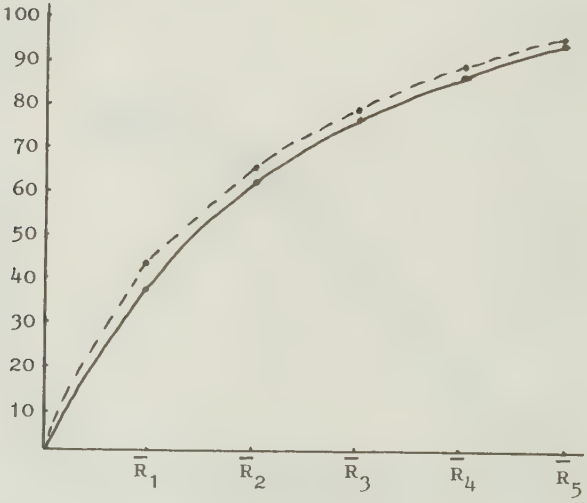

299: %-Zuwachs



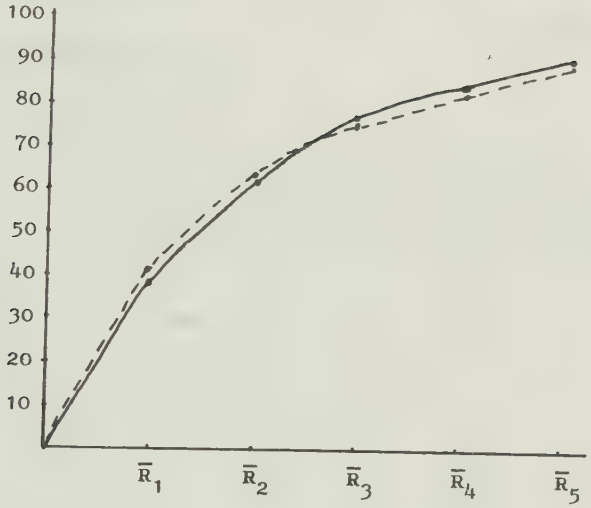
289: %-Zuwachs



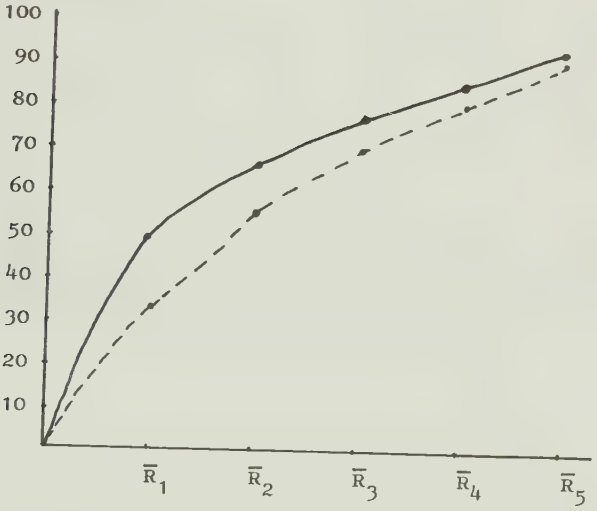

781: %-Zuwachs



782: %-Zuwachs




784: %-Zuwachs



MITTELWERTE:

| Wachstumsfaktor | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $\bar{R}_1$ | $\bar{R}_2$ | $\bar{R}_3$ | $\bar{R}_4$ | $\bar{R}_5$ | $\bar{R}_{1-5}$ |
| 286 re B | 39,63 | 37,03 | 36,50 | 38,89 | - | 37,81 |
| 286 li K | 40,01 | 40,87 | 40,50 | 39,60 | - | 40,25 |
| 287 re B | 39,79 | 43,49 | 39,80 | 45,16 | - | 42,06 |
| 287 li K | 35,62 | 36,53 | 34,89 | 36,06 | - | 35,78 |
| 288 re K | 43,76 | 42,61 | 40,48 | 42,15 | - | 42,25 |
| 288 li B | 38,03 | 35,60 | 38,81 | 38,02 | - | 37,62 |
| 289 re B | 40,36 | 39,61 | 38,19 | 47,50 | - | 41,42 |
| 289 li K | 41,54 | 39,79 | 37,99 | 46,55 | - | 41,47 |
| 294 re K | 38,78 | 40,80 | 36,47 | 36,40 | 48,02 | 40,09 |
| 294 li B | 32,90 | 35,42 | 38,97 | 36,93 | 46,69 | 38,18 |
| 295 re B | 31,44 | 37,75 | 36,57 | 39,21 | 47,52 | 38,50 |
| 295 li K | 36,75 | 35,68 | 34,19 | 35,04 | 44,93 | 37,32 |
| 296 re K | 34,80 | 37,15 | 38,11 | 39,15 | 46,45 | 39,13 |
| 296 li B | 33,76 | 37,10 | 36,38 | 38,14 | 48,14 | 38,70 |
| 299 re B | 35,03 | 39,60 | 39,87 | 38,68 | 45,90 | 39,82 |
| 299 li K | 34,51 | 40,01 | 42,64 | 40,63 | 48,78 | 41,31 |
| 781 re B | 37,53 | 40,91 | 41,27 | 44,31 | 49,94 | 42,79 |
| 781 li K | 42,16 | 41,39 | 42,51 | 46,54 | 54,49 | 45,42 |
| 782 re K | 41,32 | 38,48 | 36,72 | 35,58 | 44,82 | 39,38 |
| 782 li B | 38,61 | 39,67 | 40,45 | 38,66 | 45,85 | 40,65 |
| 784 re K | 34,30 | 34,26 | 32,48 | 37,89 | 43,51 | 36,49 |
| 784 li B | 49,21 | 36,19 | 35,67 | 38,25 | 45,67 | 41,00 |

Graphische Darstellung der Mittelwerte des Wachstumsfaktors:

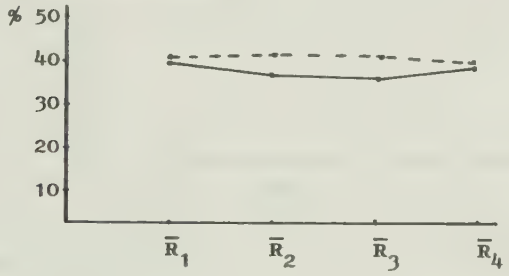
Zeichenerklärung:

—— - Behandelte Seite

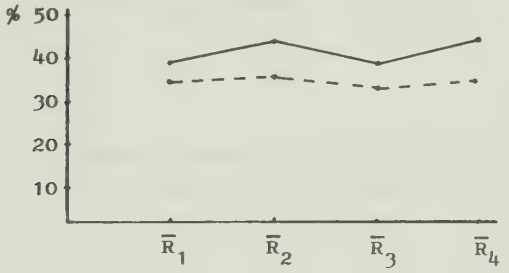
---- - Kontrollseite

$\bar{R}_1$ - Mittelwert der 10 entsprechenden Einzelwerte des Wachstumsfaktors eines Radius während der 1. Markierungswoche (5. - 12. Versuchstag); analog $\bar{R}_2$ (2. Woche), $\bar{R}_3$ (3. Woche), $\bar{R}_4$ (4.Woche), $\bar{R}_5$ (5. Woche)

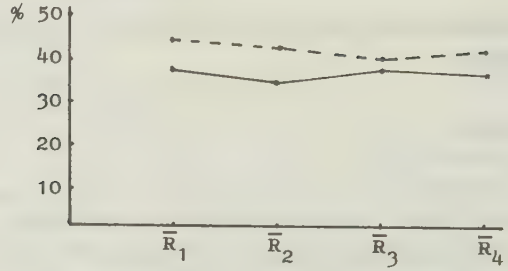
286: Wachstumsfaktor



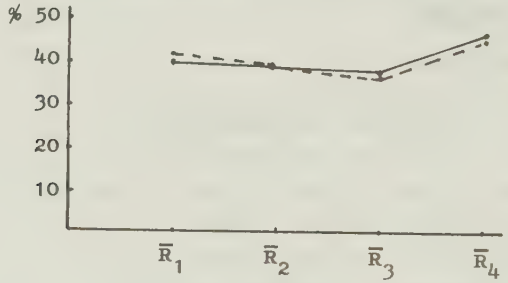

287: Wachstumsfaktor



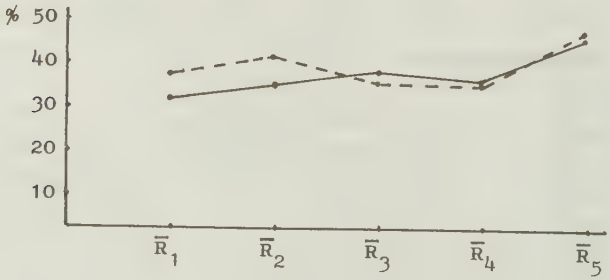
288: Wachstumsfaktor



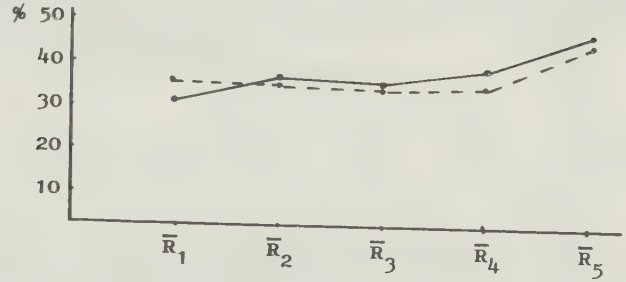

289: Wachstumsfaktor



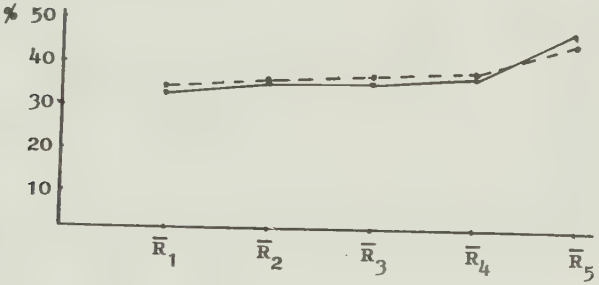

294: Wachstumsfaktor



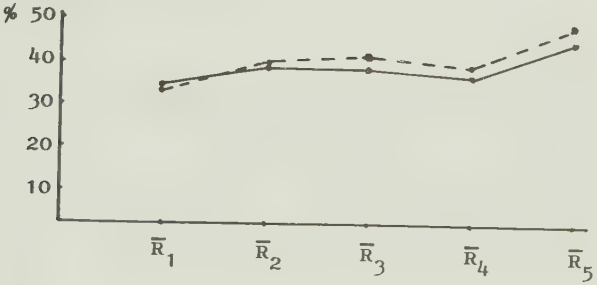
295: Wachstumsfaktor



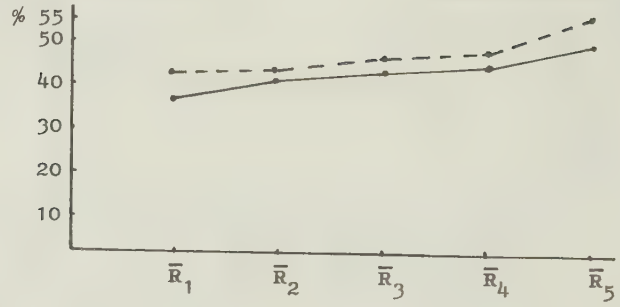

296: Wachstumsfaktor



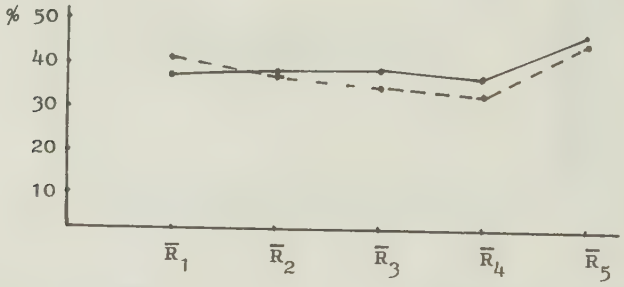

299: Wachstumsfaktor



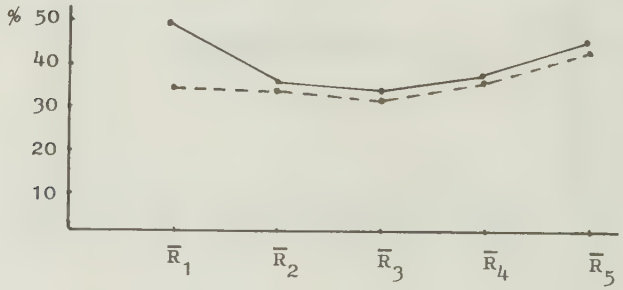
781: Wachstumsfaktor




782: Wachstumsfaktor




784: Wachstumsfaktor



Differenz der Wachstumsfaktoren zwischen behandelter und nicht behandelter Seite:

| Nr. | $\bar{R}_1$ | $\bar{R}_2$ | $\bar{R}_3$ | $\bar{R}_4$ | $\bar{R}_5$ | $\bar{R}_{1-5}$ | $\bar{R}_{1-5} - \bar{R}_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 286 re B | 39,63 | 37,03 | 36,50 | 38,89 | - | 37,81 | |
| 286 li K | 40,01 | 40,87 | 40,50 | 39,60 | - | 40,25 | |
| Differenz | -0,38 | -3,84 | -4,00 | -0,71 | - | -2,44 | -2,06 |
| 287 re B | 39,79 | 43,49 | 39,80 | 45,16 | - | 42,06 | |
| 287 li K | 35,62 | 36,53 | 34,89 | 36,06 | - | 35,78 | |
| Differenz | +4,17 | +6,96 | +4,91 | +9,10 | - | +6,28 | +2,11 |
| 288 li B | 38,03 | 35,60 | 38,81 | 38,02 | - | 37,62 | |
| 288 re K | 43,76 | 42,61 | 40,48 | 42,15 | - | 42,25 | |
| Differenz | -5,73 | -7,01 | -1,67 | -4,23 | - | -4,63 | +1,10 |
| 294 li B | 32,90 | 35,42 | 38,97 | 36,93 | 46,69 | 38,18 | |
| 294 re K | 38,78 | 40,80 | 36,47 | 36,40 | 48,02 | 40,09 | |
| Differenz | -5,88 | -5,38 | +2,50 | +0,53 | -1,33 | -1,91 | +3,97 |
| 295 re B | 31,44 | 37,75 | 36,57 | 39,21 | 47,52 | 38,50 | |
| 295 li K | 36,75 | 35,68 | 34,19 | 35,04 | 44,93 | 37,32 | |
| Differenz | -5,31 | +2,07 | +2,38 | +4,17 | +2,59 | +1,18 | +6,49 |
| 296 li B | 33,76 | 37,10 | 36,38 | 38,14 | 48,14 | 38,70 | |
| 296 re K | 34,80 | 37,15 | 38,11 | 39,15 | 46,45 | 39,13 | |
| Differenz | -1,04 | -0,05 | -1,73 | -1,01 | +1,69 | -0,43 | +0,61 |
| 299 re B | 35,03 | 39,60 | 39,87 | 38,68 | 45,90 | 39,82 | |
| 299 li K | 34,51 | 40,01 | 42,64 | 40,63 | 48,78 | 41,31 | |
| Differenz | +0,52 | -0,41 | -2,77 | -1,95 | -2,88 | -1,49 | -0,97 |

Graphische Darstellung der Wachstumsfaktorendifferenzen zwischen behandelter und nicht behandelter Seite:

Zeichenerklärung:

$\bar{R}_1$ - gibt die Differenz der Mittelwerte der Wachstumsfaktoren der 1. Markierungswoche an ($\bar{R}_1$= Differenzwert für die Zeit des 5. - 12. Versuchstages); entsprechend $\bar{R}_2$, $\bar{R}_3$, $\bar{R}_4$, $\bar{R}_5$

--- - Wachstumsfaktorendifferenz zwischen behandeltem und unbehandeltem Radius eines Tieres

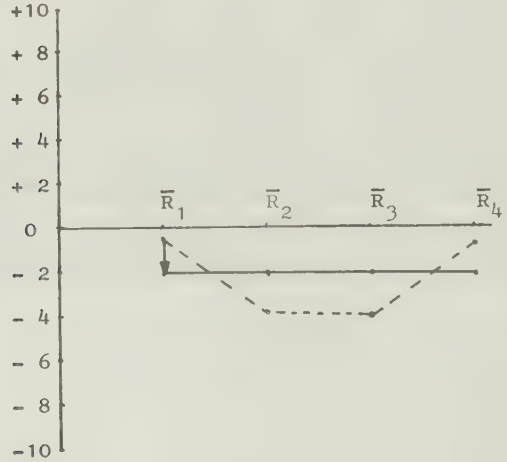
—— - Durchschnittliche Differenz der Mittelwerte des Wachstumsfaktors

Vergleich des Wachstums der 1. Markierungswoche (Kontrollperiode) zu der durchschnittlichen Wachstumsfaktorendifferenz:

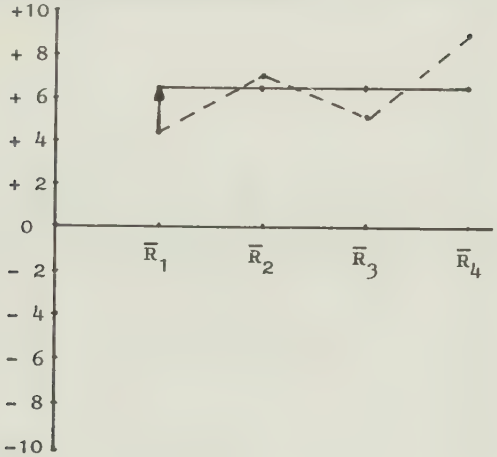
↑ - positiver Wachstumstrend

↓ - negativer Wachstumstrend

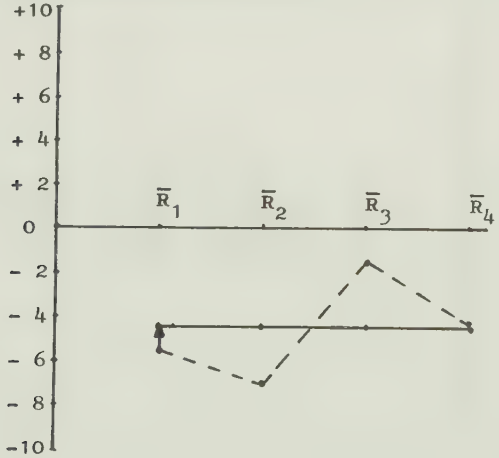
286: Wachstumsfaktorendifferenz



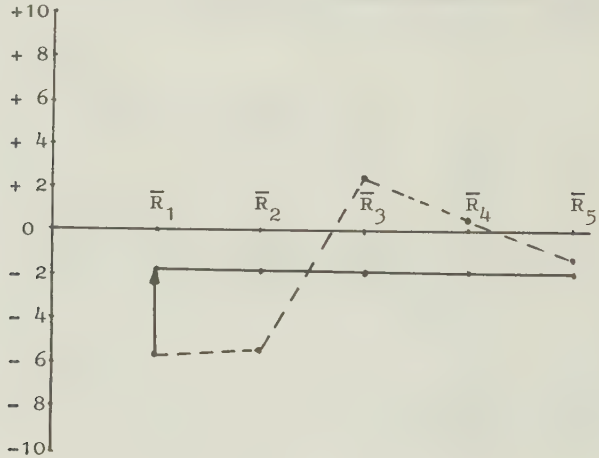
287: Wachstumsfaktorendifferenz



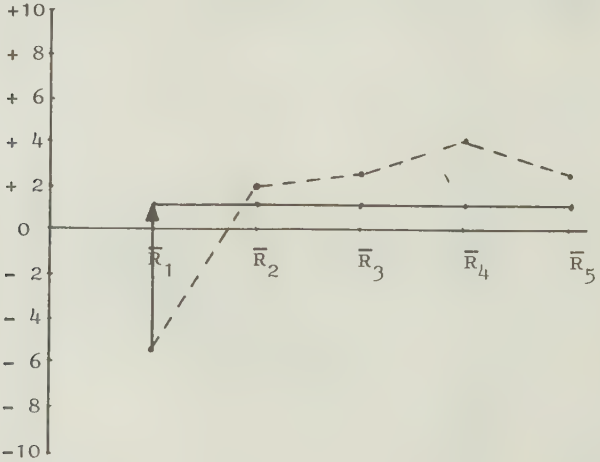

288: Wachstumsfaktorendifferenz



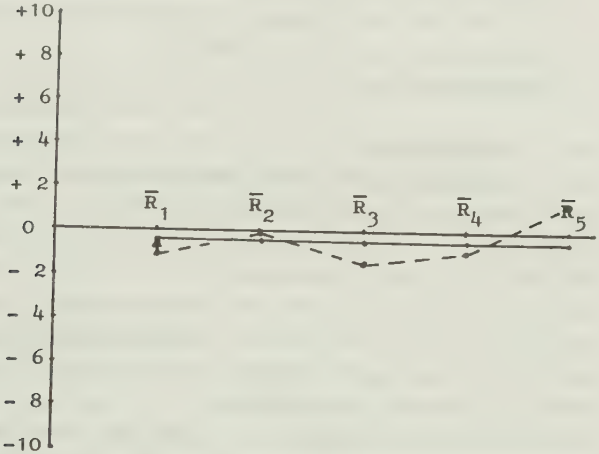
294: Wachstumsfaktorendifferenz



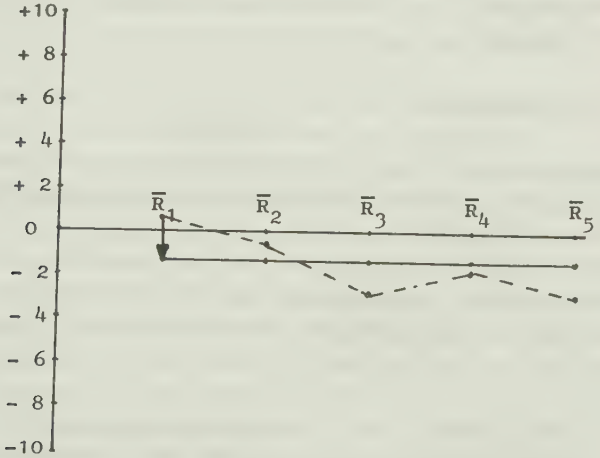

295: Wachstumsfaktorendifferenz



296: Wachstumsfaktorendifferenz




299: Wachstumsfaktorendifferenz



## VI. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

### 1.) Ergebnisse:

Positiver Effekt, das heißt, alle Werte des %-Zuwachses der behandelten Seite lagen über denen der Kontrollseite, konnte man bei Hund Nr. 287 und Nr. 784 erkennen.
Bei Hund Nr. 295, Nr. 299 und Nr. 782 lag nur ein Teil der Werte über denen der Kontrolle.
Bei Hund Nr. 286, Nr. 288, Nr. 289, Nr. 294, Nr. 296 und Nr. 781 lagen alle Werte des Kontrollradius über denen des behandelten Radius.
Zusätzlich konnte jedoch durch den Vergleich der Wachstumsfaktorendifferenzen zwischen Kontrollperiode und mittlerer Differenz bei 5 von 7 Tieren ein positiver Wachstumstrend aufgezeigt werden.
Nämlich bei Hund Nr. 287, Nr. 288, Nr. 294, Nr. 295 und Nr. 296.

### 2.) Diskussion:

Bei 2 von 11 Tieren war das Wachstum der Osteone des behandelten Radius etwas größer als das des unbehandelten Radius.
Bei den anderen Tieren scheint sich auf den ersten Blick keine, beziehungsweise keine durchschlagend positive Veränderung zu zeigen oder sogar eine negative Entwicklung sichtbar zu werden. (Siehe Tabelle)

Da bei Gruppe I und II die 1. Markierungswoche ohne Behandlung abgelaufen ist, müßte man annehmen können, daß die Wachstumsfaktoren in dieser $R_1$-Periode weit-

gehend identisch zwischen rechts und links sind. Das ist aber erstaunlicherweise nicht der Fall. Vielmehr ist bei den Tieren mit negativen Effekten in dieser Gruppe schon ein vergrößertes Wachstum der Kontrollseite auffällig.
Betrachtet man nun die mittleren Unterschiede der Wachstumsfaktoren und stellt sie der Differenz während der Kontrollperiode gegenüber, wie es im Abschnitt Berechnungen näher beschrieben wurde, so haben von diesen 7 Tieren immerhin 5 einen positiven Trend.
Das bedeutet also, daß während der Behandlung das Wachstum dieser Osteone gegenüber der Kontrollseite größer war, es aber nicht ausgereicht hat, den "Wachstumsvorsprung" der Osteone der Kontrollseite aus der $R_1$-Periode "aufzuholen".
Aufgefallen ist weiterhin, daß bei fast allen Tieren (Kontrolle und Behandlung) die Werte für den letzten Ring, der dem Blutgefäß am nächsten lag, wesentlich höher lagen als die Wachstumsfaktoren der übrigen Ringe.
Hier muß man allerdings in Betracht ziehen, daß dieses "Phänomen" vom Zeichenfehler bedingt sein könnte. Es läßt sich aber auch ein Einfluß der kurzen Distanz zum versorgenden Haverschen Gefäß diskutieren, was mit dieser Arbeit jedoch nicht belegbar ist.
Trotz Ausschluß vieler Störfaktoren können während des Versuchsablaufs Fehler und Ungenauigkeiten vorgekommen sein. Das läßt sich besonders beim Arbeiten mit Tieren nicht ganz ausschließen. So war es nicht immer möglich, die Feldspulen an der gleichen Stelle unterhalb des Ellenbogengelenkes zu fixieren, da sich die Hunde während der Behandlungszeiten natürlich bewegten. Auch kam es vor, daß sie die ihnen lästigen Kabel und Westchen durchbissen. Auch die Auswertung

der Diapositive, die als Blindversuch angelegt war, um einer subjektiven Einflußnahme entgegenzuwirken, könnte zu Zeichenfehlern geführt haben, wie auch oben schon diskutiert.
Allerdings kann man hier anführen, daß bei allen Osteonen exakt das gleiche Auswertungsverfahren angewandt wurde und somit von eventuellen Ungenauigkeiten alle Osteone, behandelte und unbehandelte, betroffen wurden.
Weiterhin sollte man noch bedenken, daß das Kontrollbein trotz Abschirmung möglicherweise auch von den Magnetfeldern synergistisch beeinflußt wurde.
Außerdem wäre zu überlegen, ob nicht über das Blut, speziell über das Eisen im Hämoglobin, der ganze Körper der Tiere unter dem Einfluß des lokal applizierten Magnetfeldes stand, und daß demzufolge die Osteone des Vergleichsradius auch mitstimuliert wurden.

Aus all den aufgeführten Gründen und den vorliegenden Ergebnissen ist eine begründete Aussage, ob die Magnetfeldtherapie zu einem verstärkten Wachstum der behandelten Osteone geführt hat, nicht möglich. Trotzdem sollte man die gezeigten positiven Wachstumstrends nicht übersehen, die zwar minimal, aber eben doch nachweisbar waren.

## VII. ZUSAMMENFASSUNG

1.) Die Vorderläufe von 11 Hunden wurden 4, teilweise auch 5 Wochen lang einer Therapie mit pulsierenden Magnetfeldern nach dem System KRAUS-LECHNER ausgesetzt.

2.) Zu Vergleichszwecken wurde nur jeweils ein Vorderbein behandelt, das andere diente als Kontrolle. Es wurde darauf geachtet, daß die Versuchsbedingungen für beide Vorderläufe gleich waren.

3.) Die Magnetfelder wurden durch Primärinduktion der Magnetfeldspule und durch Sekundärinduktion des in die Markhöhle der Ulna gepflanzten Elektro-Nagels erzeugt.

4.) Wöchentliche Fluoreszenzmarkierungen definierten die Größenzunahmen der Osteone der untersuchten Radii.

5.) Aus den Radii wurden histologische Präparate hergestellt; diese wurden abphotographiert, ausgemessen und berechnet.

6.) Ein eindeutig positiver Effekt war nicht nachweisbar, jedoch konnten bei 6 von 11 Beagle-Hunden minimale Wachstumstrends festgestellt werden.

Anhang:

ERGEBNISSE DER BERECHNUNG DER MITTELWERTE:

286 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | Wachstumsfaktor | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ |
| 1 | 36,68 | 59,01 | 72,65 | 81,34 | 36,68 | 35,27 | 33,28 | 31,76 |
| 2 | 37,96 | 61,78 | 74,80 | 83,49 | 37,96 | 38,39 | 34,07 | 34,47 |
| 3 | 37,88 | 64,20 | 79,31 | 88,77 | 37,88 | 42,36 | 42,20 | 45,75 |
| 4 | 37,16 | 57,56 | 72,03 | 83,02 | 37,16 | 32,46 | 34,33 | 39,07 |
| 5 | 43,89 | 68,25 | 82,11 | 89,35 | 43,89 | 43,41 | 43,66 | 40,48 |
| 6 | 47,42 | 70,78 | 79,89 | 88,15 | 47,42 | 44,43 | 31,18 | 41,06 |
| 7 | 40,75 | 60,74 | 74,95 | 83,57 | 40,75 | 33,74 | 36,85 | 34,39 |
| 8 | 39,50 | 58,34 | 73,69 | 83,25 | 39,50 | 31,14 | 36,85 | 36,34 |
| 9 | 31,85 | 54,23 | 68,86 | 80,44 | 31,85 | 32,85 | 31,96 | 37,20 |
| 10 | 43,17 | 63,78 | 78,72 | 89,01 | 43,17 | 36,27 | 41,23 | 48,38 |
| $\bar{R}$: | 39,63 | 61,86 | 75,70 | 85,04 | 39,63 | 37,03 | 36,50 | 38,89 |

286 links:

| %-Zuwachs | | | | | Wachstumsfaktor | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ |
| 1 | 40,80 | 64,00 | 80,65 | 89,77 | 40,80 | 39,19 | 45,98 | 47,40 |
| 2 | 41,16 | 65,04 | 80,55 | 89,94 | 41,16 | 40,59 | 44,36 | 48,27 |
| 3 | 46,59 | 66,77 | 80,36 | 87,82 | 46,59 | 37,79 | 40,90 | 37,96 |
| 4 | 35,96 | 56,29 | 69,62 | 77,25 | 35,96 | 31,74 | 30,49 | 25,12 |
| 5 | 45,00 | 71,57 | 82,50 | 90,25 | 45,00 | 48,31 | 38,42 | 44,31 |
| 6 | 37,65 | 64,13 | 80,62 | 88,46 | 37,65 | 42,47 | 45,99 | 40,45 |
| 7 | 34,64 | 57,49 | 68,28 | 77,40 | 34,64 | 34,96 | 25,37 | 28,76 |
| 8 | 45,09 | 68,90 | 81,61 | 88,67 | 45,09 | 43,36 | 40,86 | 38,38 |
| 9 | 30,54 | 58,19 | 76,10 | 85,87 | 30,80 | 39,80 | 42,85 | 40,87 |
| 10 | 42,63 | 71,62 | 85,74 | 92,08 | 42,33 | 50,53 | 49,74 | 44,44 |
| $\bar{R}$: | 40,01 | 64,40 | 78,60 | 86,75 | 40,01 | 40,87 | 40,50 | 39,60 |

287 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | Wachstumsfaktor | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ |
| 1 | 42,65 | 70,18 | 80,60 | 91,81 | 42,65 | 48,00 | 34,94 | 57,76 |
| 2 | 39,19 | 66,51 | 77,38 | 87,28 | 39,19 | 44,92 | 32,45 | 43,79 |
| 3 | 37,97 | 63,85 | 81,72 | 90,04 | 37,97 | 41,73 | 49,43 | 45,52 |
| 4 | 44,26 | 70,45 | 85,69 | 93,10 | 44,26 | 46,99 | 51,58 | 51,79 |
| 5 | 39,86 | 67,20 | 78,86 | 84,70 | 39,86 | 45,46 | 35,55 | 27,61 |
| 6 | 33,96 | 60,45 | 72,50 | 84,69 | 33,96 | 40,11 | 30,47 | 44,34 |
| 7 | 39,92 | 66,80 | 82,23 | 88,76 | 39,92 | 44,73 | 46,48 | 36,75 |
| 8 | 40,17 | 66,60 | 79,75 | 88,27 | 40,17 | 44,18 | 39,38 | 42,05 |
| 9 | 28,48 | 51,54 | 68,14 | 83,52 | 28,48 | 32,24 | 34,24 | 48,29 |
| 10 | 51,44 | 74,05 | 85,32 | 93,20 | 51,44 | 46,56 | 43,44 | 53,67 |
| $\bar{R}$: | 39,79 | 65,76 | 79,22 | 88,54 | 39,79 | 43,49 | 39,80 | 45,16 |

287 links:

| %-Zuwachs | | | | | Wachstumsfaktor | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ |
| 1 | 38,88 | 63,85 | 74,70 | 84,27 | 38,88 | 40,85 | 30,03 | 37,83 |
| 2 | 35,40 | 66,48 | 81,58 | 88,40 | 35,40 | 48,11 | 45,05 | 36,99 |
| 3 | 35,20 | 56,85 | 68,27 | 77,95 | 35,20 | 33,41 | 26,46 | 30,51 |
| 4 | 30,74 | 54,03 | 71,75 | 79,77 | 30,74 | 33,63 | 38,55 | 28,38 |
| 5 | 35,79 | 58,26 | 73,44 | 83,22 | 35,79 | 34,99 | 36,36 | 36,84 |
| 6 | 53,91 | 77,82 | 88,12 | 94,61 | 53,91 | 51,89 | 46,41 | 54,60 |
| 7 | 33,70 | 55,24 | 71,35 | 84,34 | 33,70 | 32,48 | 36,01 | 45,32 |
| 8 | 31,23 | 50,71 | 62,55 | 73,02 | 31,23 | 28,33 | 24,03 | 27,94 |
| 9 | 36,69 | 59,79 | 73,60 | 82,45 | 36,69 | 36,49 | 34,34 | 33,54 |
| 10 | 24,67 | 43,60 | 61,45 | 72,51 | 24,67 | 25,13 | 31,65 | 28,68 |
| $\bar{R}$: | 35,62 | 58,66 | 72,68 | 82,05 | 35,62 | 36,53 | 34,89 | 36,06 |

288 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | Wachstumsfaktor | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ |
| 1 | 37,92 | 61,85 | 72,74 | 82,75 | 37,92 | 38,54 | 28,55 | 36,73 |
| 2 | 42,57 | 71,18 | 84,45 | 90,47 | 42,57 | 49,81 | 46,06 | 38,73 |
| 3 | 41,55 | 66,70 | 78,33 | 87,03 | 41,44 | 43,03 | 34,91 | 40,16 |
| 4 | 48,13 | 72,06 | 83,07 | 88,68 | 48,13 | 46,14 | 39,41 | 33,10 |
| 5 | 54,95 | 80,12 | 90,01 | 94,80 | 54,95 | 55,87 | 49,76 | 47,92 |
| 6 | 41,93 | 65,63 | 77,95 | 88,67 | 41,93 | 40,82 | 35,85 | 48,62 |
| 7 | 55,16 | 72,56 | 83,52 | 90,20 | 55,16 | 38,81 | 39,93 | 40,49 |
| 8 | 45,65 | 69,14 | 81,33 | 88,80 | 45,65 | 43,22 | 39,49 | 40,01 |
| 9 | 42,10 | 60,68 | 76,66 | 87,64 | 42,10 | 32,10 | 40,65 | 47,05 |
| 10 | 27,63 | 54,94 | 77,56 | 88,47 | 27,63 | 37,75 | 50,18 | 48,64 |
| $\bar{R}$: | 43,76 | 67,49 | 80,56 | 88,75 | 43,76 | 42,61 | 40,48 | 42,15 |

288 links:

| %-Zuwachs | | | | | Wachstumsfaktor | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ |
| 1 | 41,81 | 67,74 | 83,75 | 92,58 | 41,81 | 44,56 | 49,63 | 54,34 |
| 2 | 36,92 | 60,08 | 73,07 | 80,74 | 36,92 | 36,72 | 32,53 | 28,48 |
| 3 | 45,38 | 67,95 | 82,91 | 92,61 | 45,38 | 41,32 | 46,68 | 56,74 |
| 4 | 35,64 | 54,41 | 68,64 | 78,20 | 35,64 | 29,17 | 31,20 | 30,47 |
| 5 | 43,36 | 64,31 | 80,26 | 89,82 | 43,36 | 36,99 | 44,68 | 48,44 |
| 6 | 29,00 | 48,27 | 65,94 | 75,84 | 29,00 | 27,14 | 34,15 | 29,08 |
| 7 | 33,31 | 54,91 | 70,37 | 79,57 | 33,31 | 32,39 | 34,28 | 32,26 |
| 8 | 33,09 | 55,00 | 70,07 | 79,93 | 33,09 | 32,75 | 33,48 | 31,76 |
| 9 | 38,99 | 57,22 | 69,53 | 80,20 | 38,99 | 29,88 | 28,78 | 35,03 |
| 10 | 42,77 | 68,55 | 85,11 | 90,11 | 42,77 | 45,04 | 52,65 | 33,62 |
| $\bar{R}$: | 38,03 | 59,84 | 74,97 | 83,96 | 38,03 | 35,60 | 38,81 | 38,02 |

289 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | Wachstumsfaktor | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ |
| 1 | 39,41 | 64,64 | 81,05 | 92,39 | 39,41 | 41,64 | 46,41 | 59,84 |
| 2 | 40,59 | 59,30 | 72,68 | 83,03 | 40,59 | 31,49 | 32,88 | 37,87 |
| 3 | 40,30 | 62,87 | 77,38 | 86,61 | 40,30 | 37,80 | 39,09 | 40,78 |
| 4 | 39,70 | 58,94 | 69,84 | 84,08 | 39,70 | 31,90 | 26,54 | 47,24 |
| 5 | 40,24 | 62,77 | 77,03 | 88,22 | 40,24 | 37,71 | 38,30 | 48,72 |
| 6 | 32,20 | 55,08 | 73,81 | 85,16 | 32,20 | 33,74 | 41,70 | 43,33 |
| 7 | 46,24 | 73,97 | 86,29 | 94,67 | 46,24 | 51,59 | 47,33 | 61,09 |
| 8 | 38,22 | 61,93 | 74,64 | 85,70 | 38,22 | 38,39 | 33,39 | 43,69 |
| 9 | 39,30 | 67,04 | 78,97 | 89,05 | 39,30 | 45,69 | 36,22 | 47,92 |
| 10 | 47,44 | 71,67 | 83,02 | 90,59 | 47,44 | 46,10 | 40,06 | 44,56 |
| $\bar{R}$: | 40,36 | 63,82 | 77,47 | 87,95 | 40,36 | 39,61 | 38,19 | 47,50 |

289 links:

| %-Zuwachs | | | | | Wachstumsfaktor | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ |
| 1 | 37,33 | 63,17 | 78,77 | 88,03 | 37,33 | 41,22 | 42,37 | 43,60 |
| 2 | 45,49 | 72,11 | 84,22 | 92,39 | 45,49 | 48,83 | 43,42 | 51,79 |
| 3 | 32,30 | 61,22 | 78,53 | 90,17 | 32,30 | 42,72 | 44,63 | 54,24 |
| 4 | 46,17 | 67,41 | 79,52 | 88,84 | 46,17 | 39,47 | 37,17 | 45,52 |
| 5 | 36,02 | 56,13 | 70,14 | 82,22 | 36,02 | 31,42 | 31,94 | 40,44 |
| 6 | 41,70 | 62,92 | 72,66 | 84,58 | 41,70 | 36,40 | 26,27 | 43,59 |
| 7 | 39,68 | 65,64 | 80,87 | 88,40 | 39,68 | 43,04 | 44,32 | 39,35 |
| 8 | 46,65 | 67,75 | 81,78 | 92,23 | 46,65 | 39,56 | 43,49 | 57,34 |
| 9 | 52,85 | 71,57 | 81,98 | 91,82 | 52,85 | 39,71 | 36,59 | 54,62 |
| 10 | 37,24 | 59,54 | 71,55 | 81,51 | 37,24 | 35,53 | 29,67 | 35,01 |
| $\bar{R}$: | 41,54 | 64,75 | 78,00 | 88,02 | 41,54 | 39,79 | 37,99 | 46,55 |

294 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 39,39 | 65,55 | 75,83 | 81,51 | 92,22 | 39,39 | 43,16 | 29,82 | 23,50 | 57,9 |
| 2 | 42,01 | 63,97 | 75,08 | 84,14 | 90,61 | 42,01 | 37,86 | 30,84 | 36,35 | 40,8 |
| 3 | 31,81 | 57,88 | 73,05 | 81,75 | 90,11 | 31,81 | 38,23 | 36,01 | 32,29 | 45,7 |
| 4 | 41,78 | 69,14 | 80,37 | 89,11 | 93,99 | 41,78 | 46,99 | 36,37 | 44,52 | 44,8 |
| 5 | 36,82 | 59,69 | 73,61 | 84,22 | 95,03 | 36,82 | 36,20 | 34,54 | 40,20 | 68,5 |
| 6 | 27,57 | 49,55 | 62,99 | 74,12 | 83,27 | 27,57 | 30,35 | 26,64 | 30,07 | 35,3 |
| 7 | 41,21 | 64,33 | 78,66 | 86,71 | 91,77 | 41,21 | 39,32 | 40,17 | 37,72 | 38,0 |
| 8 | 45,78 | 72,83 | 84,40 | 89,39 | 92,90 | 45,78 | 49,90 | 42,56 | 31,99 | 33,1 |
| 9 | 41,82 | 63,76 | 80,27 | 88,33 | 94,03 | 41,82 | 37,71 | 45,54 | 40,85 | 48,8 |
| 10 | 39,62 | 68,79 | 81,97 | 90,36 | 96,31 | 39,62 | 48,32 | 42,21 | 46,55 | 66,9 |
| $\bar{R}$: | 38,78 | 63,55 | 76,62 | 84,96 | 92,02 | 38,78 | 40,80 | 36,47 | 36,40 | 48,0 |

294 links:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 25,73 | 52,25 | 68,74 | 80,23 | 88,70 | 25,73 | 35,70 | 34,53 | 36,76 | 42,8 |
| 2 | 25,15 | 54,26 | 77,65 | 88,90 | 94,82 | 25,15 | 38,89 | 51,13 | 50,34 | 53,3 |
| 3 | 39,11 | 58,99 | 70,44 | 80,24 | 88,43 | 39,11 | 32,67 | 27,89 | 33,16 | 41,4 |
| 4 | 36,86 | 59,14 | 74,82 | 81,58 | 90,75 | 36,86 | 35,29 | 38,37 | 26,84 | 49,7 |
| 5 | 32,06 | 56,85 | 70,41 | 81,08 | 91,27 | 32,06 | 36,50 | 31,43 | 36,04 | 53,8 |
| 6 | 30,13 | 51,04 | 67,12 | 78,06 | 87,71 | 30,13 | 29,92 | 32,84 | 33,28 | 44,0 |
| 7 | 34,34 | 58,69 | 76,04 | 84,96 | 92,45 | 34,34 | 37,08 | 42,01 | 37,21 | 49,8 |
| 8 | 34,84 | 59,35 | 75,25 | 84,47 | 87,62 | 34,84 | 37,62 | 39,10 | 37,27 | 20,2 |
| 9 | 34,26 | 56,45 | 76,14 | 86,01 | 93,88 | 34,26 | 33,75 | 45,21 | 41,35 | 56,2 |
| 10 | 36,49 | 59,83 | 78,78 | 86,64 | 94,02 | 36,49 | 36,76 | 47,16 | 37,05 | 55,2 |
| $\bar{R}$: | 32,90 | 56,69 | 73,54 | 83,22 | 90,97 | 32,90 | 35,42 | 38,97 | 36,93 | 46,6 |

295 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 33,17 | 60,90 | 74,74 | 85,10 | 91,92 | 33,17 | 41,50 | 35,39 | 40,99 | 45,77 |
| 2 | 36,00 | 60,53 | 74,53 | 81,11 | 91,86 | 36,00 | 38,33 | 34,21 | 27,24 | 56,90 |
| 3 | 34,10 | 56,38 | 70,95 | 81,43 | 89,40 | 34,10 | 33,81 | 33,40 | 36,06 | 42,95 |
| 4 | 24,23 | 53,90 | 69,49 | 82,02 | 92,67 | 24,23 | 37,84 | 35,22 | 41,05 | 59,25 |
| 5 | 39,81 | 68,31 | 82,14 | 90,75 | 95,49 | 39,81 | 47,36 | 43,63 | 48,18 | 51,31 |
| 6 | 36,25 | 60,52 | 76,38 | 87,93 | 94,69 | 36,25 | 38,06 | 40,18 | 48,92 | 55,96 |
| 7 | 10,50 | 38,96 | 57,72 | 74,46 | 84,13 | 10,50 | 31,80 | 30,74 | 39,60 | 37,85 |
| 8 | 34,06 | 60,38 | 76,97 | 85,43 | 92,30 | 34,06 | 39,92 | 41,88 | 36,73 | 47,13 |
| 9 | 37,17 | 59,03 | 73,10 | 81,91 | 88,40 | 37,17 | 34,80 | 34,35 | 32,74 | 35,90 |
| 10 | 29,12 | 53,30 | 70,44 | 82,43 | 89,83 | 29,12 | 34,11 | 36,71 | 40,56 | 42,13 |
| $\bar{R}$: | 31,44 | 57,22 | 72,65 | 83,26 | 91,07 | 31,44 | 37,75 | 36,57 | 39,21 | 47,52 |

295 links:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 31,79 | 54,90 | 66,63 | 75,61 | 83,62 | 31,79 | 33,88 | 26,01 | 26,91 | 32,86 |
| 2 | 35,67 | 56,01 | 69,14 | 78,54 | 86,39 | 35,67 | 31,62 | 29,84 | 30,48 | 36,57 |
| 3 | 32,89 | 59,16 | 71,26 | 81,19 | 89,00 | 32,89 | 39,14 | 29,62 | 34,54 | 41,52 |
| 4 | 36,05 | 54,32 | 68,60 | 78,86 | 89,58 | 36,05 | 28,56 | 31,28 | 32,67 | 50,72 |
| 5 | 40,78 | 63,74 | 75,49 | 82,67 | 92,29 | 40,78 | 38,76 | 32,41 | 29,29 | 55,52 |
| 6 | 34,71 | 56,09 | 71,85 | 85,30 | 92,66 | 34,71 | 32,75 | 35,88 | 47,78 | 50,05 |
| 7 | 36,53 | 59,15 | 74,13 | 82,57 | 87,83 | 36,53 | 35,63 | 36,68 | 32,63 | 30,16 |
| 8 | 46,36 | 68,26 | 80,68 | 88,08 | 94,75 | 46,36 | 40,82 | 39,13 | 38,34 | 55,96 |
| 9 | 31,63 | 54,81 | 72,32 | 83,97 | 90,15 | 31,63 | 33,91 | 38,75 | 42,07 | 38,56 |
| 10 | 41,11 | 65,68 | 80,19 | 87,26 | 94,57 | 41,11 | 41,73 | 42,29 | 35,68 | 57,41 |
| $\bar{R}$: | 36,75 | 59,21 | 73,03 | 82,41 | 90,08 | 36,75 | 35,68 | 34,19 | 35,04 | 44,93 |

296 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 27,23 | 50,12 | 67,10 | 79,18 | 88,95 | 27,23 | 31,46 | 34,03 | 36,72 | 46,91 |
| 2 | 40,99 | 68,65 | 79,84 | 87,37 | 92,37 | 40,99 | 46,88 | 35,70 | 37,36 | 39,58 |
| 3 | 35,70 | 57,38 | 72,08 | 83,66 | 90,88 | 35,70 | 33,72 | 34,49 | 41,48 | 44,18 |
| 4 | 41,75 | 64,49 | 78,49 | 87,24 | 93,20 | 41,75 | 39,03 | 39,43 | 40,67 | 46,74 |
| 5 | 30,50 | 53,37 | 68,20 | 78,27 | 85,81 | 30,50 | 32,90 | 31,80 | 31,68 | 34,69 |
| 6 | 28,26 | 50,24 | 70,61 | 81,99 | 90,86 | 28,26 | 30,65 | 40,94 | 38,70 | 49,25 |
| 7 | 40,48 | 64,43 | 81,41 | 90,88 | 95,22 | 35,71 | 42,59 | 47,75 | 50,93 | 47,61 |
| 8 | 35,71 | 63,09 | 78,56 | 87,43 | 93,87 | 40,48 | 40,23 | 41,90 | 41,38 | 51,22 |
| 9 | 33,79 | 58,09 | 73,42 | 82,59 | 91,75 | 33,79 | 36,70 | 36,57 | 34,50 | 52,61 |
| 10 | 33,57 | 58,37 | 74,40 | 84,15 | 92,34 | 33,57 | 37,33 | 38,52 | 38,07 | 51,66 |
| $\bar{R}$: | 34,80 | 58,82 | 74,41 | 84,28 | 91,53 | 34,80 | 37,15 | 38,11 | 39,15 | 46,45 |

296 links:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 33,38 | 55,24 | 69,48 | 81,18 | 88,78 | 33,38 | 32,81 | 31,81 | 38,33 | 40,42 |
| 2 | 36,79 | 61,15 | 75,16 | 83,42 | 93,15 | 36,79 | 38,53 | 36,06 | 33,25 | 58,68 |
| 3 | 40,25 | 66,11 | 80,96 | 88,72 | 94,41 | 40,25 | 43,28 | 43,83 | 40,76 | 50,40 |
| 4 | 39,56 | 64,35 | 77,17 | 84,77 | 93,65 | 39,56 | 41,01 | 35,97 | 33,29 | 58,28 |
| 5 | 34,99 | 58,37 | 75,25 | 86,90 | 93,19 | 34,99 | 35,96 | 40,53 | 47,08 | 48,01 |
| 6 | 26,79 | 47,63 | 63,21 | 75,46 | 84,20 | 26,79 | 28,47 | 29,74 | 33,31 | 35,60 |
| 7 | 31,90 | 59,55 | 74,30 | 84,24 | 91,45 | 31,90 | 40,60 | 36,48 | 38,67 | 45,74 |
| 8 | 40,04 | 68,49 | 82,31 | 91,33 | 96,51 | 40,04 | 47,45 | 43,87 | 50,96 | 59,78 |
| 9 | 19,91 | 40,86 | 57,47 | 69,92 | 79,02 | 19,91 | 26,16 | 28,09 | 29,28 | 30,24 |
| 10 | 33,99 | 58,24 | 73,87 | 83,41 | 92,41 | 33,99 | 36,73 | 37,43 | 36,50 | 54,23 |
| $\bar{R}$: | 33,76 | 58,00 | 72,92 | 82,94 | 90,68 | 33,76 | 37,10 | 36,38 | 38,14 | 48,14 |

299 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 36,75 | 63,07 | 78,43 | 85,56 | 93,40 | 36,75 | 41,62 | 41,58 | 33,08 | 54,31 |
| 2 | 36,33 | 62,84 | 79,32 | 88,05 | 93,05 | 36,33 | 41,64 | 44,34 | 42,20 | 41,85 |
| 3 | 32,31 | 59,83 | 74,76 | 85,35 | 91,05 | 32,31 | 40,66 | 37,16 | 41,96 | 38,90 |
| 4 | 29,32 | 53,34 | 71,24 | 82,10 | 90,99 | 29,32 | 33,98 | 38,37 | 37,76 | 49,58 |
| 5 | 40,55 | 64,28 | 78,57 | 86,98 | 93,17 | 40,55 | 39,92 | 40,01 | 39,23 | 47,64 |
| 6 | 32,31 | 56,31 | 74,11 | 82,26 | 89,51 | 32,31 | 35,46 | 40,73 | 31,47 | 40,89 |
| 7 | 31,18 | 59,20 | 76,94 | 86,68 | 92,60 | 31,18 | 40,72 | 43,48 | 42,25 | 44,41 |
| 8 | 30,86 | 57,19 | 74,51 | 84,50 | 90,47 | 30,86 | 38,08 | 40,46 | 39,21 | 38,51 |
| 9 | 42,05 | 67,65 | 80,31 | 88,84 | 93,48 | 38,62 | 44,18 | 39,13 | 43,34 | 44,45 |
| 10 | 38,62 | 63,01 | 75,36 | 84,30 | 93,80 | 42,05 | 39,73 | 33,39 | 36,30 | 58,47 |
| $\bar{R}$: | 35,03 | 60,67 | 76,36 | 85,46 | 92,15 | 35,03 | 39,60 | 39,87 | 38,68 | 45,90 |

299 links:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 33,06 | 61,73 | 77,53 | 86,14 | 92,58 | 33,06 | 42,83 | 41,27 | 38,33 | 46,45 |
| 2 | 29,70 | 55,02 | 73,63 | 83,56 | 90,75 | 29,70 | 36,01 | 41,38 | 37,65 | 43,73 |
| 3 | 26,93 | 53,87 | 72,52 | 83,66 | 91,67 | 26,93 | 36,87 | 40,44 | 40,52 | 49,03 |
| 4 | 37,26 | 66,27 | 79,31 | 87,96 | 94,48 | 37,26 | 46,24 | 38,65 | 41,80 | 54,17 |
| 5 | 32,23 | 56,79 | 78,33 | 88,98 | 94,90 | 32,23 | 36,24 | 49,85 | 49,17 | 53,74 |
| 6 | 35,42 | 60,29 | 75,68 | 85,00 | 92,52 | 35,42 | 38,51 | 38,76 | 38,33 | 50,14 |
| 7 | 43,26 | 65,38 | 79,71 | 88,21 | 94,29 | 43,26 | 38,98 | 41,41 | 41,87 | 51,62 |
| 8 | 40,92 | 65,43 | 81,07 | 87,99 | 93,12 | 40,92 | 41,48 | 45,24 | 36,55 | 42,76 |
| 9 | 31,65 | 63,18 | 80,01 | 88,01 | 93,42 | 31,65 | 46,14 | 45,71 | 40,00 | 45,10 |
| 10 | 34,62 | 58,62 | 76,70 | 86,50 | 93,39 | 34,62 | 36,76 | 43,65 | 42,06 | 51,04 |
| $\bar{R}$: | 34,51 | 60,66 | 77,45 | 86,60 | 93,11 | 34,51 | 40,01 | 42,64 | 40,63 | 48,78 |

781 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 40,99 | 67,39 | 81,91 | 89,58 | 95,37 | 40,99 | 44,74 | 44,51 | 42,41 | 55,61 |
| 2 | 33,48 | 56,57 | 75,15 | 90,41 | 96,61 | 33,48 | 34,71 | 42,78 | 61,40 | 64,64 |
| 3 | 46,80 | 70,71 | 79,17 | 87,25 | 93,52 | 46,80 | 44,96 | 28,89 | 38,76 | 49,21 |
| 4 | 32,76 | 57,63 | 74,05 | 84,11 | 90,30 | 32,76 | 36,98 | 38,75 | 38,79 | 38,96 |
| 5 | 34,41 | 61,57 | 79,51 | 90,83 | 96,35 | 34,41 | 41,41 | 46,67 | 55,26 | 60,15 |
| 6 | 44,49 | 67,39 | 81,87 | 89,95 | 94,70 | 44,49 | 41,26 | 44,41 | 44,54 | 47,24 |
| 7 | 37,64 | 65,11 | 79,16 | 87,04 | 92,54 | 37,64 | 44,05 | 40,26 | 37,80 | 42,47 |
| 8 | 36,32 | 62,85 | 77,90 | 86,32 | 93,04 | 36,32 | 41,67 | 40,51 | 38,09 | 49,13 |
| 9 | 32,58 | 59,05 | 75,88 | 85,93 | 91,82 | 32,58 | 39,26 | 41,10 | 41,66 | 41,89 |
| 10 | 35,82 | 61,50 | 78,75 | 88,18 | 94,10 | 35,82 | 40,02 | 44,80 | 44,38 | 50,12 |
| $\bar{R}$: | 37,53 | 62,98 | 78,34 | 87,96 | 93,84 | 37,53 | 40,91 | 41,27 | 44,31 | 49,94 |

781 links:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 45,49 | 64,49 | 76,18 | 86,23 | 94,99 | 45,49 | 38,14 | 32,92 | 42,18 | 63,64 |
| 2 | 37,62 | 63,55 | 77,99 | 86,12 | 93,03 | 37,62 | 41,58 | 39,61 | 36,96 | 49,79 |
| 3 | 49,26 | 71,50 | 84,00 | 92,00 | 95,79 | 49,26 | 43,83 | 43,86 | 50,00 | 47,31 |
| 4 | 42,24 | 67,95 | 82,73 | 90,33 | 95,55 | 42,24 | 44,51 | 46,12 | 44,01 | 54,02 |
| 5 | 47,27 | 69,39 | 83,84 | 90,44 | 95,22 | 47,27 | 41,95 | 47,19 | 40,87 | 49,95 |
| 6 | 29,65 | 56,62 | 76,23 | 91,11 | 97,16 | 29,65 | 38,34 | 45,21 | 62,61 | 68,05 |
| 7 | 38,67 | 63,59 | 78,01 | 87,05 | 91,91 | 38,67 | 40,63 | 39,61 | 41,12 | 37,52 |
| 8 | 55,71 | 79,69 | 91,35 | 96,15 | 98,55 | 55,71 | 54,13 | 57,42 | 55,48 | 62,33 |
| 9 | 42,54 | 64,08 | 75,16 | 86,57 | 94,53 | 42,54 | 37,49 | 30,83 | 45,94 | 59,24 |
| 10 | 33,00 | 55,31 | 74,22 | 86,14 | 93,49 | 33,00 | 33,29 | 42,31 | 46,24 | 53,01 |
| $\bar{R}$: | 42,16 | 65,62 | 79,97 | 89,21 | 95,02 | 42,16 | 41,39 | 42,51 | 46,54 | 54,49 |

782 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 35,36 | 57,24 | 70,59 | 81,29 | 89,07 | 35,36 | 33,85 | 31,23 | 36,39 | 41,59 |
| 2 | 42,85 | 67,72 | 83,39 | 91,70 | 95,44 | 42,85 | 43,52 | 48,53 | 50,03 | 45,07 |
| 3 | 43,81 | 67,76 | 81,68 | 89,24 | 93,87 | 43,81 | 42,63 | 43,17 | 41,26 | 43,03 |
| 4 | 50,10 | 66,14 | 78,66 | 84,64 | 90,79 | 50,10 | 32,15 | 36,99 | 28,03 | 40,06 |
| 5 | 26,72 | 55,39 | 70,55 | 79,88 | 88,61 | 26,72 | 39,12 | 33,99 | 31,66 | 43,38 |
| 6 | 42,63 | 64,54 | 77,15 | 84,62 | 91,93 | 42,63 | 38,20 | 35,55 | 32,71 | 47,52 |
| 7 | 38,06 | 59,40 | 71,75 | 79,18 | 88,98 | 38,06 | 34,46 | 30,41 | 26,29 | 47,09 |
| 8 | 43,23 | 64,53 | 76,56 | 85,75 | 93,57 | 43,23 | 37,51 | 33,92 | 39,19 | 54,90 |
| 9 | 47,63 | 69,56 | 80,21 | 87,31 | 92,83 | 47,63 | 41,88 | 34,97 | 35,89 | 43,46 |
| 10 | 42,83 | 66,55 | 79,41 | 86,48 | 92,17 | 42,83 | 41,48 | 38,45 | 34,36 | 42,07 |
| $\bar{R}$: | 41,32 | 63,88 | 77,00 | 85,01 | 91,73 | 41,32 | 38,48 | 36,72 | 35,58 | 44,82 |

782 links:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 38,97 | 68,08 | 82,09 | 89,09 | 94,40 | 38,97 | 47,70 | 43,90 | 41,90 | 46,15 |
| 2 | 28,63 | 57,08 | 78,05 | 88,94 | 94,32 | 28,63 | 39,87 | 48,86 | 49,61 | 48,60 |
| 3 | 40,53 | 59,08 | 71,02 | 79,63 | 87,68 | 40,53 | 31,19 | 29,19 | 29,72 | 39,50 |
| 4 | 30,94 | 52,98 | 71,81 | 84,60 | 88,91 | 30,94 | 31,92 | 40,04 | 45,38 | 27,99 |
| 5 | 48,41 | 68,77 | 82,77 | 89,43 | 95,17 | 48,41 | 39,46 | 44,82 | 38,69 | 54,30 |
| 6 | 32,53 | 62,22 | 73,53 | 83,37 | 91,79 | 32,53 | 44,01 | 29,92 | 37,17 | 50,67 |
| 7 | 43,98 | 66,57 | 77,34 | 84,19 | 89,54 | 43,98 | 40,32 | 32,23 | 30,23 | 33,81 |
| 8 | 52,88 | 75,83 | 90,27 | 94,70 | 98,51 | 52,88 | 48,71 | 59,73 | 45,57 | 71,95 |
| 9 | 48,49 | 67,36 | 79,56 | 85,47 | 91,43 | 48,49 | 36,64 | 37,37 | 28,92 | 41,03 |
| 10 | 20,69 | 49,97 | 69,21 | 81,34 | 89,64 | 20,69 | 36,92 | 38,46 | 39,39 | 44,48 |
| $\bar{R}$: | 38,61 | 62,79 | 77,57 | 86,08 | 92,14 | 38,61 | 39,67 | 40,45 | 38,66 | 45,85 |

784 rechts:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 40,61 | 63,23 | 73,26 | 81,38 | 87,27 | 40,61 | 38,09 | 27,29 | 30,36 | 31,63 |
| 2 | 25,19 | 42,50 | 57,50 | 72,19 | 84,72 | 25,19 | 23,13 | 26,09 | 34,56 | 45,07 |
| 3 | 48,99 | 70,13 | 81,66 | 90,47 | 95,03 | 48,99 | 41,42 | 38,60 | 48,04 | 47,85 |
| 4 | 32,01 | 54,16 | 69,04 | 81,53 | 90,39 | 32,01 | 32,58 | 32,46 | 40,34 | 47,98 |
| 5 | 32,33 | 57,05 | 71,75 | 82,03 | 89,60 | 32,33 | 36,52 | 34,23 | 36,40 | 42,07 |
| 6 | 29,90 | 45,73 | 63,94 | 76,07 | 86,51 | 29,90 | 22,58 | 33,55 | 33,64 | 43,65 |
| 7 | 40,29 | 68,99 | 79,28 | 87,68 | 93,23 | 40,29 | 48,06 | 33,19 | 40,55 | 45,00 |
| 8 | 20,60 | 48,35 | 65,65 | 79,49 | 87,94 | 20,60 | 34,95 | 33,50 | 40,28 | 41,21 |
| 9 | 39,30 | 58,15 | 69,88 | 81,46 | 89,01 | 39,30 | 31,06 | 28,03 | 38,45 | 40,70 |
| 10 | 33,76 | 56,41 | 72,92 | 82,73 | 91,35 | 33,76 | 34,19 | 37,87 | 36,24 | 49,89 |
| $\bar{R}$: | 34,30 | 56,47 | 70,49 | 81,50 | 89,51 | 34,30 | 34,26 | 32,48 | 37,89 | 43,51 |

784 links:

| %-Zuwachs | | | | | | Wachstumsfaktor | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $R_5$ |
| 1 | 47,51 | 64,12 | 75,04 | 84,06 | 91,75 | 47,51 | 31,64 | 30,44 | 36,13 | 48,25 |
| 2 | 54,36 | 73,29 | 84,03 | 90,47 | 95,00 | 54,36 | 41,48 | 40,21 | 40,31 | 47,50 |
| 3 | 38,09 | 54,90 | 68,02 | 81,65 | 92,09 | 38,09 | 27,16 | 29,09 | 42,63 | 56,87 |
| 4 | 45,57 | 68,26 | 77,23 | 83,54 | 89,38 | 45,57 | 41,69 | 28,25 | 27,70 | 35,52 |
| 5 | 43,62 | 65,91 | 80,34 | 87,65 | 92,16 | 43,62 | 39,54 | 42,33 | 37,19 | 36,49 |
| 6 | 53,70 | 69,55 | 79,81 | 87,48 | 92,52 | 53,70 | 34,22 | 33,69 | 37,99 | 40,28 |
| 7 | 50,07 | 72,04 | 84,29 | 91,43 | 96,09 | 48,95 | 37,24 | 29,09 | 45,44 | 54,41 |
| 8 | 48,95 | 67,96 | 77,28 | 85,03 | 92,79 | 50,07 | 44,00 | 43,81 | 34,10 | 51,81 |
| 9 | 61,19 | 74,25 | 84,99 | 92,10 | 96,20 | 61,19 | 33,65 | 41,73 | 47,36 | 51,94 |
| 10 | 49,01 | 64,97 | 78,31 | 85,60 | 90,45 | 49,01 | 31,31 | 38,07 | 33,62 | 33,67 |
| $\bar{R}$: | 49,21 | 67,53 | 78,93 | 86,90 | 92,84 | 49,21 | 36,19 | 35,67 | 38,25 | 45,67 |

## VIII. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. ANDREWS, E.T., FRIEDENBERG, Z.B.:
In vivo bone reactions to varying direct currents.
J. Bone Jt. Surg. 52-A, 600 (1970)

2. BASSETT, C.A.L.:
Environmental and cellular factors regulating osteogenesis.
Bone biodynamics. Boston: Little-Brown 1964

3. BASSETT, C.A.L.:
Electrical effects in bone.
Sci. Amer. 213, 18 (1965)

4. BASSETT, C.A.L., BECKER, R.O.:
Generation of electrical potentials by bone in response to mechanical stress.
Science 137, 1063 (1962)

5. BASSETT, C.A.L., PAWLUK, R.J., BECKER, R.O.:
Effects of electrical currents on bone in vivo.
Nature 204, 652 (1964)

6. BECKER, R.O., BASSETT, C.A.L., BACHMANN, C.H.:
Bioelectric factors controlling bone structure.
Bone biodynamics. Boston: Little-Brown 1964

7. BECKER, R.O., BASSETT, C.A.L., BACHMANN, C.H.:
The bioelectric control system regulating bone growth.
Proc. Int. Symp. on Biodyn. of Bone.
Boston: Little-Brown 1964

8. BLÜMLEIN, H., SCHNEIDER, U., REHN, B.A., PERREN, S.M.:
Die Wirkung sogenannter elektrodynamischer Potentiale an experimentellen reaktionsarmen Pseudarthrosen.
Langenbecks Arch. Chir. Suppl., 105 (1977)

9. FRIEDENBERG, Z.B., HARLOW, M.C., BRIGHTON, C.T.:
Healing of nonunion of the medial malleolus by means of direct current: A case report.
J. of Trauma, 11, 883 (1971)

10. FRIEDENBERG, Z.B., KOHANIM, M.:
The effect of direct current on bone.
Surg. Gynec. Obstet. 127, 97 (1968)

11. FROST, H.M.:
Mean formation time of human osteons.
Canad. J. Biochem. Physiol. 41, 1307 (1963)

12. FUKADA, E.:
Piezoelectricity in crystalline high polymers.
Rep. Kobayashi Sci. Res. Lab. 9, 45 (1959)

13. FUKADA,E., YASUDA, J.:
On the piezoelectric effect of bone.
J. Phys. Soc. Jap. 12, 1158 (1957)

14. FUKADA, E., YASUDA, J.:
Piezoelectric effect in collagen.
Jap. A. Appl. Phy. 3, 117 (1958)

15. IBSEN, K.H., URIST, M.R.:
The biochemistry and the physiology of the tetracyclines.
Clin. Orthop. 32, 143 (1968)

16. IIDA, H.:
On electrical callus produced by an alternating current.
J. Kyoto Pref. Med. Univ. 60, 561 (1956)

17. INGVAR, S.:
Reaction of cells to the galvanic current in tissue cultures.
Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 17, 198 (1920)

18. KÄMMERER, H.:
Die Markierung des Knochenstoffwechsels durch Antibiotika der Tetracyclin-Gruppe.
Fortschr. Med. 85, 311 (1967)

19. KÄMMERER, H., EGER, W.:
Tetracycline und Knochenstoffwechsel.
Med. Welt 18, 986 (1965)

20. KÄMMERER, H., GÄRTNER, E.:
Der Einfluß von Röntgenstrahlen auf die Knochenneubildung.
Langenbecks Arch. Chir. Suppl. Chir. Forum, 43 (1972)

21. KRAUS, W.:
Hinweise zur Therapie mit elektrischen und magnetischen Funktionspotentialen des Systems Kraus.
Sonderschrift aus dem Institut für medizinische Physik, Werner Kraus, München

22. KRAUS, W.:
Magnetodynamische Behandlung im Indikationsbereich Endoprothetik.
Sonderschrift aus dem Institut für medizinische Physik, Werner Kraus, München

23. KRAUS, W.:
Zur Biophysik der Knochenbruch- und Wundbehandlung durch funktionelle elektrische und magnetische Potentiale.
Langenbecks Arch. Chir., 337 (1974)

24. KRAUS, W., KNAHR, K., SALZER, M.:
Erste Erfahrungen mit der Magnetodyn-Behandlung.
Vortrag vor der Öster. Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie, Salzburg 1978

25. KRAUS, W., WILHELM, K., FELDMEIER, Ch.:
Anwendungen der elektrischen und magnetischen Funktionspotentiale des Systems W. Kraus zur Behandlung von Pseudarthrosen.
Medizinalmarkt 9 (Sonderdruck), 1975

26. KRAUS, W., LECHNER, F.:
Die Heilung von Pseudarthrosen und Spontanfrakturen durch strukturbildende elektrodynamische Potentiale.
Münch. med. Wschr. 114, 1814 (1972)

27. LAVINE, L.S., LUSTRIN, I., SHAMOS, M.H., MOSS, M.L.:
The influence of electric current on bone regeneration in vivo.
Acta orthop. Scand. 42, 305 (1971)

28. LECHNER, F.:
Beeinflussung der Knochenbildung durch elektromagnetische Potentiale.
Langenbecks Arch. Chir. 337 (1974)

29. LECHNER, F.:
Die Behandlung von Knochenbruchheilungsstörungen mit elektromagnetischen Potentialen.
Mschr. Unfallheilk. 77, 245 (1974)

30. LECHNER, F.:
Die Beeinflussung gestörter Frakturheilung durch elektromagnetische Felder.
H. Unfallheilk. 114, 325 (1973)

31. LECHNER, F.:
Therapie resistenter Frakturen mit pulsierenden Magnetfeldern.
Phy. Med. u. Reh. 11 (1977)

32. LENGYEL, J.:
Die Wirkung des magnetischen Kraftfeldes auf die Faserbildung und auf das Gewebewachstum.
Arch. exp. Zellforschung 14, 255 (1933)

33. LENZI, M.:
A report of a few recent experiments on the biologic effects of magnetic fields.
Radiology 35, 307 (1940)

34. LUND, E.J.:
Bioelectric fields and growth.
Austin, Texas: Univ. Tex. Press 1947

35. MARINO, A.A., BECKER, R.O.:
Origin of the piezoelectric effect in bone.
Calc. Tiss. Res. 8, 177 (1971)

36. Mc ELHANEY, J.H., STALNAKER, R., BULLARD, R.:
Electric fields and bone loss of disuse.
J. Biomech. 1, 47 (1968)

37. MINKIN, C., POULTON, B.R., HOOVER, W.H.:
The effect of direct current on bone.
Clin. Orthop. 57, 303 (1968)

38. NAKAGAWA, M., TATEIWA, K.:
The influence of pH on the growth rate of bone.
J. Bone Jt. Surg. 37-A, 1295 (1955)

39. PAWLUK, R.J., BASSETT, C.A.L.:
Electromechanical factors in healing cortical bone defects.
Calcif. Tiss. Res. Suppl. 4, 120 (1970)

40. PUTSCHAR, G.J.:
Allgemeine Morphologie und Dynamik des Knochenumbaus unter normalen und pathologischen Bedingungen.
Verh. Dtsch. Ges. Path. 47, 113 (1963)

41. RIEDE, U.N., RUEDI, Th., ROHNER, Y.L.E., PERREN, S., GUGGENHEIM, R.:
Quantitative und morphologische Erfassung der Gewebereaktion auf Metallimplantate (Osteosynthesematerial).
Arch. orth. Unfall-Chir. 78, 199 (1974)

42. RÖHLIG, H.:
Lokale Anregung des Extremitätenwachstums im Tierexperiment.
Ergebn. Chir. Orthop. 52, 81 (1970)

43. SEDAR, J.D.:
The influence of direct current fields upon the developmental pattern of the chick embryo.
J. exp. Zool. 133, 47 (1956)

44. SHAMOS, M.H., LAVINE. L.S., SHAMOS, M.I.:
Piezoelectric effect in bone.
Nature 197, 81 (1963)

45. STÜRMER, K.M., KEHR, H., MILITZER, K., SCHMIT-NEUERBURG, K.P., SCHMITT, H.G.:
Elektromagnetische Stimulation infizierter Defektpseudarthrosen im Rechts-Links-Versuch am Beagle.
Langenbecks Arch. Chir. Suppl., 109 (1977)

46. STUHLER, Th., KAISER, G., MEFFERT, O., STRACHE, D.:
Der Einfluß des niederfrequenten Wechselstrom-Systems Kraus-Lechner auf das Knochenwachstum.
Arch. Orthop. Traumat. Surg. 91, 297 (1978)

47. TÄGER, K.H.:
Anwendung elektrodynamischer Wechselpotentiale in der operativen und konservativen Orthopädie.
Münch. med. Wschr. 117, 791 (1975)

48. TRUETA, J.:
The influence of blood supply in controlling bone growth.
Bull. Hosp. Jt. Dis. 14, 147 (1953)

49. WARNKE, U.:
Aspekte zur magnetischen Kraftwirkung auf biologische Systeme.
Heilkunst (Sonderdruck) 1 (1978)

50. WEIGERT, M.:
Anregung der Knochenbildung durch elektrischen Strom.
H. Unfallheilk. 115, Springer 1973

51. WEIGERT, M.:
Die Förderung der Osteogenese durch induktiven Wechselstrom.
Z. Orthop. 107, 362 (1970)

52. WEIGERT, M., WERHAHN, C., MÜLLER, J., MELLEROWICZ, H.:
Piezopotentiale an der intakten und osteotomierten Tibia.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 79, 255 (1974)

53. WEIGERT, M., WERHAHN, C., MÜLLING, M.:
Beschleunigung der knöchernen Heilung von Osteotomien an Schafen durch elektrischen Strom.
Z. Orthop. 110, 959 (1972)

54. WEIGERT, M., WERHAHN, C., BANDOW, R., MELLEROWICZ, H.:
Knochenpotentiale bei elektrischer Stimulation.
Z. Orthop. 111, 778 (1973)

55. WIENDL, H.J., STRIGL, M.:
Klinische Erfahrungen zur ergänzenden Behandlung von Pseudarthrosen mit elektromagnetischen Potentialen.
Fortschr. Med. 5, 231 (1978)

56. WILSON, C.L.:
Experimental attempts to stimulate bone growth.
J. Bone Jt. Surg. 52-A, 1033 (1970)

57. WOLFF, J.:
Das Gesetz der Transformation der Knochen.
Berlin: Hirschwald 1892

58. YAMAGISHI, M., YOSHIMURA, Y.:
The biomechanics of fracture healing.
J. Bone Jt. Surg. 37-A, 1035 (1957)

59. YASUDA, J.:
Study on bone biodynamics.
(Summary)
J. Bone Jt. Surg. 40-A, 227 (1958)

60. YASUDA, J., NOGUCHI, K., SATA, T.:
Dynamic callus and electric callus.
J. Bone Jt. Surg. 37-A, 1292 (1955)

# L e b e n s l a u f

| | |
|---|---|
| 16. 9. 1955 | geboren in Roigheim als Tochter von Herrn Josef Söhner und Frau Annelore Söhner, geb. Schreiweis |
| 1962 - 1967 | Volksschule Roigheim |
| 1967 - 1970 | Hauptschule Möckmühl |
| 1970 - 1972 | Wirtschaftsschule Heilbronn |
| 14. 7. 1972 | Prüfung der mittleren Reife |
| 1972 - 1975 | Wirtschaftsgymnasium Heilbronn |
| 13. 6. 1975 | Prüfung der allgemeinen Hochschulreife |
| 15. 10. 1975 | Immatrikulation an der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg zum Studium der Medizin |
| 31. 8. 1977 | Ärztliche Vorprüfung |
| 31. 8. 1978 | Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung |
| 22. 8. 1980 | Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung |
| 13. 10. 1981 | Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung<br>Schriftlicher Teil |
| 22. 10. 1981 | Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung<br>Mündlicher Teil |

Würzburg, den 30. Oktober 1981

Yvonne Söhner